Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON
ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON
ERNST LAMLA

BEIRAT:
J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. J. DEUTICKE
H. v. FICKER · R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · K. HENKE
A. KUHN · M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

42. JAHRGANG **HEFT 19** (ERSTES OKTOBERHEFT) **1955**

INHALT:

Seite

AUFSÄTZE.

Komplementarität und Logik. Von C. F. v. WEIZSÄCKER . . 521

Ein Fluorometer für Papierchromatogramme. Von A. KÜHN . 529

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN.

Untersuchung der charakteristischen Energieverluste mit Hilfe der Gegenfeldmethode. Von G. HABERSTROH und H. RAETHER 531

Stochastische Darstellung der Quantenmechanik. Von F. BOPP 531

Untersuchungen über die Wanderung von Markierungen bei der Diffusion von Gold und Silber. Von W. SEITH †, TH. HEUMANN und G. WALTHER 532

Die physikalischen Grundlagen der Tränkungsvorgänge an porösen Systemen. Von H. E. SCHWIETE und L. ŽAGAR . 533

Untersuchungen über die Bindung des Wassers in kristallisierten Salzhydraten. Von O. GLEMSER und E. HARTERT 534

Anorganische Papierchromatographie mit Tetrahydrofuran. Von H. HARTKAMP und H. SPECKER 534

Chromatographic Resolution of Natural Coumarins. Von A. CHATTERJEE und A. CHOUDHURY 535

Über celluloselösende Tri-(en)-Zink-hydroxydlösungen. Von G. JAYME und K. NEUSCHÄFFER 536

Zur Bildung des Rhodanidiones aus Weißkohlinhaltsstoffen in vivo. Von L. JIROUSEK 536

Amino Acid Metabolism of Starving *Phaseolus vulgaris* Leaves. A Chromatographic Study. Von S. RANJAN und M. M. LALORAYA 537

Untersuchungen über Hirudin. Von F. MARKWARDT 537

Seite

Ein Vorschlag zur Konservierung größerer Massen von Mikroorganismen unter Erhaltung der vitalen Eigenschaften. Von H. FINK 538

Die Röntgenkontrastwirkung von Thorium-äthylen-diamintetraessigsaurem Natrium. Von F. HAUSCHILD und G. DENTZER 538

Der Kommentkampf der Kreuzotter (Vipera berus L.). Von E. THOMAS 539

Über die Haltung von Bienen in geschlossenen, künstlich beleuchteten Räumen. Von M. RENNER 539

Ein Transozeanversuch zum Zeitsinn der Honigbiene. Von M. RENNER 540

Untersuchungen über Verlängerung der Lebensdauer (Versuche mit Drosophila melanogaster). Von W. GOETSCH . . 541

Zum Harnsteinproblem. Von G. GASSER, K. BRAUNER und A. PREISINGER 541

Synchronstroboskopie von Schallquellen einschließlich des menschlichen Stimmorgans. Von R. TIMCKE 542

BESPRECHUNGEN.

R. PLANK, Handbuch der Kältetechnik. Bd. I u. II. (Ref.: H. GLASER) 543

W. FINKELNBURG, Einführung in die Atomphysik. (Ref.: F. SAUTER) 543

K. RAWER, Die Ionosphäre. (Ref.: W. DIEMINGER) 544

H. ULBRICHT, Grundriß der pflanzlichen Rohstoffkunde. (Ref.: U. WEBER) 544

G. A. BOYD, Autoradiography in Biology and Medicine. (Ref.: R. BACHMANN) 544

Nahrung und Ernährung

Altbekanntes und Neuerforschtes vom Essen

Von Professor Dr. **Hans Glatzel**, Flensburg. (Verständliche Wissenschaft, Bd. 39.) Zweite, verbesserte und erweiterte Auflage. 6.—11. Tausend. Mit 22 Abbildungen. VIII, 152 Seiten Kl.-8°. Ganzleinen DM 7.80

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Begründet 1913 von *A. Berliner* und *C. Thesing*. 1934/35 herausgegeben von *H. Matthée*, 1936—1944 herausgegeben von *F. Süffert*, 1945—1949 herausgegeben von *A. Eucken*.

Beilage: „Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte".

Bildet die Fortsetzung der „Naturwissenschaftlichen Rundschau". Begründet 1886 und bis 1912 (Jahrgang 27) herausgegeben von *J. Bernstein, V. Meyer, B. Schwalbe, W. Sklarek* u. a. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (bis 1948 Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft).

Die „Naturwissenschaften" erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20 %. Für Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 11.25 DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalsschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Nachdruck: Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht. Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Es ist ferner ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophote u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 24 92 51) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platzmangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zeitschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Jennerstr. 21, Tel.: 59717.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildungen von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Aus dem Leben der Vögel

Von Dr. **Oskar Heinroth** †. Zweite, verbesserte Auflage. 6.—11. Tausend. Durchgesehen und ergänzt von Dr. **Katharina Heinroth**, Berlin. (Verständliche Wissenschaft, Bd. 34.) Mit 91 Abbildungen. VIII, 156 Seiten Kl.-8°. 1955. Ganzleinen DM 7.80

Inhaltsübersicht: Die Hauptmerkmale der Vögel. — Vom Vogelnest. — Die Brut. — Über Nesttreue, Lahmstellen, Nest-Irrungen. — Kennt der Vogel seine Eier? — Erkennt der Vogel seine Jungen? — Wer füttert und führt die Jungen? — Hängt die Brutdauer von der Größe des Vogels ab? — Hängt die Eigröße von der Größe des Vogels ab? — Vögel, die in fremde Nester legen. — Vogelmischlinge und -zwitter. — Paarbildung und Ehe. — Über das Ei und das Wachstum der Jungen. — Der Federwechsel (die Mauser). — Farbenmuster und Umfärbung. — Gefiederpflege. — Ernährungsweise der Vögel. — Verständigungsweisen der Vögel. — Die Sinneswerkzeuge der Vögel. — Bewegungsweisen. — Die geistigen Fähigkeiten. — Wie findet sich ein Vogel zurecht? — Verzeichnis der wissenschaftlichen Namen, zugleich Seitenweiser.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

42. Jahrgang Heft 19 (Erstes Oktoberheft) 1955

Komplementarität und Logik.

NIELS BOHR zum 70. Geburtstag am 7. 10. 1955 gewidmet.

Von C. F. v. WEIZSÄCKER, Göttingen.

1. *Vorbemerkung.*

NIELS BOHR hat den Begriff der Komplementarität in die Physik eingeführt in dem Vortrag über „Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik", den er im September 1927 auf dem Volta-Kongreß in Como gehalten hat[1]). Seitdem stehen die Grundlagen seiner Deutung der Quantentheorie fest. Was hinzugekommen ist, war Ausführung und Erläuterung, aber kein grundlegend neuer Begriff. Auch die Kritiker der BOHRschen Auffassung, deren größter EINSTEIN war, haben zugegeben, daß BOHR die Quantentheorie, so wie sie heute vorliegt, im wesentlichen richtig analysiert habe. Gerade deshalb haben sie ja eine über die heutige Quantentheorie hinausgehende Theorie verlangt. Man darf daher wohl den Begriff der Komplementarität als den Schlüssel zum besten heute möglichen Verständnis der Quantentheorie bezeichnen.

Bedenken wir das, so wird es uns verblüffen, daß auch heute noch der Begriff der Komplementarität keineswegs eindeutig verwendet wird. Daher bin ich gerne der Bitte des Herausgebers dieser Zeitschrift gefolgt, zum 70. Geburtstag BOHRs einen Aufsatz über diesen Begriff zu schreiben. Dabei habe ich zunächst versucht, die verschiedenen Bedeutungen, in denen die heutigen Quantentheoretiker den Begriff tatsächlich verwenden, voneinander zu unterscheiden und ihr gegenseitiges Verhältnis darzulegen. Dies geschieht im 2. Abschnitt dieses Aufsatzes. Dort werden drei verschiedene Deutungen unterschieden. Gemeinsam ist ihnen, daß sie je zwei Begriffe als komplementär bezeichnen, die auf derselben „begrifflichen Stufe" liegen; was das bedeutet, wird dort näher erläutert. Daher schlage ich für diese Auffassungen den gemeinsamen Namen „parallele Komplementarität" vor.

Als ich dann BOHRs Originalarbeiten wieder las, um festzustellen, welche dieser Deutungen seiner ursprünglichen Auffassung am nächsten kommt, entdeckte ich, daß sie zwar alle von seiner Auffassung hergeleitet werden können, daß sie aber einen entscheidenden Zug dieser Auffassung alle nicht mehr ausdrücken. Die Begriffe, die BOHR als komplementär bezeichnet, stehen durchweg nicht in einem „parallelen", sondern einem „zirkulären" Verhältnis zueinander. Das heißt, sie stehen nicht auf gleicher, sondern auf verschiedener Stufe und bedingen einander wechselseitig. Dieses zirkuläre Verhältnis kann man gar nicht aussprechen, ohne auf die Struktur unserer Erkenntnis einzugehen. Es ist daher kein Wunder, daß es überall dort unter den Tisch gefallen ist, wo versucht wurde, die Quantentheorie ohne explizite Bezugnahme auf philosophische Probleme zu formulieren; andererseits wird es nun vielleicht noch verständlicher, warum BOHR die Quantentheorie nie anders als in ausdrücklicher Verbindung mit philosophischen Fragestellungen darstellen konnte. Dies ist im 3. Abschnitt, vorzugsweise mit wörtlichen Zitaten aus BOHRs Schriften, dargelegt.

Soweit hat der Aufsatz mehr „philologischen" Charakter; er interpretiert die Meinungen BOHRs und der anderen Physiker. Doch scheint mir das Bedürfnis nach einem sachlich hinreichenden Verständnis der Zusammenhänge damit noch nicht voll befriedigt, ja vielleicht erst neu erweckt zu sein. Ich habe daher gewagt, in einem zweiten, umfangreicheren Teil des Aufsatzes einen ersten Bericht zu geben über einige neuere eigene Überlegungen, deren Kern der Versuch ist, die Komplementarität als einen Grundbegriff der *Logik* aufzufassen. Diese Fragen sind ganz außerordentlich schwierig, und die Unvollkommenheit der hier vorgelegten Darstellung ist mir selbst wohl am deutlichsten bewußt.

Der Gedanke, die Quantenmechanik verwende de facto eine gegenüber der klassischen abgeänderte Logik, mag älter sein, ist aber meines Wissens zuerst 1932 von J. v. NEUMANN[2]) mit mathematischem Inhalt erfüllt worden. Dann haben G. BIRKHOFF und J. v. NEUMANN[3]) 1936 die formale Struktur dieser Logik mit Hilfe der Verbandstheorie beschrieben. Soweit die Fragestellung dieser Autoren reichte, haben sie, wie mir scheint, das gestellte Problem endgültig gelöst; dies ist im 7. Abschnitt dieses Aufsatzes kurz referiert. Die Versuche späterer Autoren[4]) zu demselben Thema scheinen mir an formaler Konsequenz hinter der Arbeit von BIRKHOFF und v. NEUMANN zurückzubleiben. Sie schneiden dafür die dort offen gelassenen philosophischen Probleme an, vermögen sie aber, wie mir heute scheint, noch nicht befriedigend zu lösen. Diese grundsätzlichen Probleme sind der Ausgangspunkt der Gedanken, die hier vorgetragen werden sollen. Diese Gedanken sind angeregt durch eine neue philosophische Untersuchung über das Verhältnis der Logik und Naturwissenschaft von G. PICHT[5]).

BIRKHOFF und v. NEUMANN haben gezeigt, daß die bekannte Mathematik der Quantenmechanik formal als eine Erweiterung des Aussagenkalküls der klassischen Logik aufgefaßt werden kann. Wir fragen nun: in welchem Sinn und mit welchem Recht kann man diesen erweiterten Kalkül als eine Logik bezeichnen? Diese Frage läßt sich in drei Fragen aufspalten:

1. Würde es nicht genügen, von einer Abänderung der Physik statt der Logik zu sprechen? Diese Frage

[1]) BOHR N.: Atomtheorie und Naturbeschreibung (im folgenden als „A. u. N." zitiert), S. 34—59. Berlin 1931.

[2]) NEUMANN, J. v.: Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, S. 130ff. Berlin 1932.

[3]) BIRKHOFF, G., u. J. v. NEUMANN: Ann. of Math. **37**, 823 (1936).

[4]) DESTOUCHES-FÉVRIER, P.: La structure des théories physiques, Paris 1951; weitere Zitate in Déterminisme et indéterminisme, Paris 1955. — REICHENBACH, H.: Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik. Basel: Birkhäuser 1949.

[5]) PICHT, G.: In CL. MÜNSTER u. G. PICHT: Naturwissenschaft und Bildung. Würzburg 1953.

ist im 5. Abschnitt an Hand des einfachsten bekannten Beispiels erörtert.

2. Wenn von einer Abänderung der Logik die Rede sein soll, welchen Begriff betrifft sie primär? Dies ist im 6. Abschnitt besprochen. Es scheint mir, daß die quantentheoretische Einführung des Begriffs der Wahrscheinlichkeit den logischen Gegensatz von Wahrheit und Falschheit so modifiziert, daß zwar der Satz vom Widerspruch, aber nicht der Satz vom ausgeschlossenen Dritten erhalten bleibt. Die Komplementaritätslogik erscheint unter diesem Aspekt als eine mehrwertige Modallogik. Dabei ist es wahrscheinlich richtig, die entscheidende Änderung nicht in der Logik im engeren Sinne, sondern in der Ontologie zu suchen, aber so, daß auch der Zusammenhang dieser beiden Wissenschaften in ein neues Licht rückt.

3. Wie verhält sich die Logik, in der die Quantentheorie über ihre Gegenstände spricht, zu der Logik, in der wir über die Quantentheorie sprechen? Diese vielleicht wichtigste Frage ist im 4. Abschnitt vorausgenommen, um die grundsätzliche Möglichkeit einer Komplementaritätslogik zu prüfen. Sie wird dort nicht entschieden, und der 8. Abschnitt kommt auf sie zurück. Dieser Abschnitt stellt die nach meinem Empfinden überraschendste und wichtigste Folgerung aus den gemachten Ansätzen dar. Er ist aber auch sachlich am unfertigsten, und der 9. Abschnitt zählt einige Fragen auf, die noch offen geblieben sind.

Auf Wunsch des Herausgebers habe ich als 10. Abschnitt einen Anhang hinzugefügt, in dem einige der verwendeten Fachausdrücke im Zusammenhang erläutert sind. Es ist die Hoffnung des Herausgebers, daß der Aufsatz dadurch auch für nicht quantentheoretisch vorgebildete Leser verständlich werde.

2. *Übliche Auffassungen: parallele Komplementarität.*

Erste Deutung: Komplementarität von Ort und Impuls. In der klassischen Darstellung PAULIS[1]) heißt es, nach einer Darlegung des Zusammenhangs der HEISENBERGschen Unbestimmtheitsrelation mit dem Meßvorgang: „Wenn aus diesem Grunde die Benutzbarkeit *eines* klassischen Begriffes in einem ausschließenden Verhältnis zu der eines *anderen* steht, nennen wir diese beiden Begriffe (z. B. Orts- und Impulskoordinaten eines Teilchens) mit BOHR *komplementär*."

Hiernach besteht also die Komplementarität zwischen zwei *Begriffen*. Die Begriffe gehören der *klassischen* Physik an, und zwar *derselben* Theorie (demselben „Bild") der klassischen Physik. In diesem Sinne nennen wir sie Begriffe derselben Stufe und sprechen von paralleler Komplementarität. Innerhalb der klassischen Physik sind die beiden Begriffe aber nicht komplementär. Sie werden es erst in der *Quantentheorie*. Die Komplementarität besteht darin, daß sie nicht gleichzeitig benutzt werden können, gleichwohl aber beide benutzt werden müssen. Letzteres ist in der klassischen Physik klar, denn erst die Angabe von Ort und Impuls definiert den Zustand im Sinne der klassischen Physik. In der Quantentheorie genügt zwar die genaue Kenntnis einer der beiden Größen, um den Zustand zu definieren. Aber beide Größen sind meßbar. Es gibt Zustände mit bestimmtem Ort und Zustände mit bestimmtem Impuls; beide können aber nicht zugleich vorliegen. Insofern sagt man, in einem Zustand mit bestimmtem Ort habe der Impuls keinen *objektiven* Wert und umgekehrt. Es gibt also Größen, die zwar gemessen werden können, für die aber nicht die Annahme gemacht wird, sie hätten, wenn sie nicht gemessen sind, doch sicher „an sich" einen Wert. In diesem Sinne schränkt die Komplementarität der Begriffe ihre *Objektivierbarkeit* ein. Die Frage, ob die Quantentheorie durch eine Theorie objektiver „verborgener Parameter" ergänzt werden könne[2]), wird in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt. Wir beschränken uns auf eine Beschreibung der bestehenden Theorie und versuchen nicht, ihre Notwendigkeit zu beweisen.

Genau diese Auffassung der Komplementarität werden wir nachher in die Logik übertragen. Da wir dann von einer Komplementarität nicht nur zwischen Begriffen, sondern auch zwischen *Aussagen* reden werden, sei der Zusammenhang dieser beiden Verwendungen des Worts hier skizziert. Begriffe wie Ort und Impuls bezeichnen, logisch gesprochen, mögliche Prädikate gewisser Subjekte, z. B. von Elektronen. Genau genommen bezeichnet „Ort" eine ganze Klasse möglicher Prädikate, nämlich alle möglichen Koordinatentripel x, y, z; ebenso „Impuls" die Klasse aller möglichen Tripel von Impulskoordinaten p_x, p_y, p_z. Beschränken wir uns um des einfachen Ausdruckes willen auf eine Raumdimension, so besagt die Komplementarität von Ort und Impuls: zwei Prädikate der Form „x" und „p_x" können demselben Elektron nicht gleichzeitig zukommen. Dann besteht auch eine Komplementarität zweier Aussagen: Die Aussagen: „dieses Elektron hat den Ort x" und „dieses Elektron hat den Impuls p_x" können nicht gleichzeitig wahr sein. Daß zwei Aussagen komplementär seien, ist also eine Aussage über ihre möglichen Wahrheitswerte.

Zweite Deutung: Komplementarität von Ort und Wellenzahl. Die Unvereinbarkeit von Orts- und Impulskenntnis hatte HEISENBERG schon in der Unbestimmtheitsrelation ausgesprochen. Was BOHR hinzufügte, war die Begründung durch den Dualismus von Teilchen und Wellen. Nach DE BROGLIE ist der Impuls p eines Teilchens mit der Wellenlänge λ der zugeordneten Welle durch die Gleichung $p = h/\lambda$ verbunden. Andererseits kann man ein lokalisiertes Teilchen durch eine Wellengruppe beschreiben. Eine Wellengruppe aber hat keine definierte Wellenlänge. Führt man die Wellenzahl $k = 1/\lambda$ ein, so ist $p = hk$, und die Unbestimmtheitsrelation wird in der Form $\Delta x \, \Delta k \approx 1$ zu einem mathematischen Satz der FOURIER-Analyse. In diesem Sinne sagt z. B. HUND[3]): „*Ort und Wellenzahl einer Wellengruppe sind einander komplementär* (im Sinne von BOHR), indem die Wellenzahl um so genauer bestimmt werden kann, als der Ort (wegen der Ausdehnung der Wellengruppe) unbestimmt ist. *Diese Komplementarität ist eine Eigenschaft des anschaulichen Wellenbildes.*"

Auch dies ist eine mögliche Definition der Komplementarität. Sie weicht aber, wie HUND selbst hervorhebt, von der ersten Deutung inhaltlich ab, denn nach ihr kommt Komplementarität schon in einer *klassischen* Theorie vor, nämlich im anschau-

[1]) PAULI, W.: Handbuch der Physik, Bd. XXIV/1, S. 89. Berlin: Springer 1933.

[2]) Vgl. BOHM, D.: Physic. Rev. 85, 166, 180 (1952).

[3]) HUND, F.: Materie als Feld, S. 44. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1954.

lichen Wellenbild. Sie enthält noch immer einen Zug der „BOHRschen Weisheit", die alle vom „Kopenhagener Geist" Berührten gelegentlich mit schmunzelndem Respekt zitieren. BOHR wird nicht müde, seinen Schülern zu zeigen, daß jeder Begriff Grenzen der Anwendbarkeit hat; so z. B. der Begriff „mischen" in seiner Lieblingsgeschichte von dem Jungen, der im Laden für 2 Pfennig „gemischte Bonbons" verlangt und zwei Bonbons bekommt mit der Bemerkung: „da hast du sie, mischen kannst du sie selber". Doch wird die Komplementarität durch ihre Aufnahme in die klassische Physik im Sinne der klassischen Vorstellungen von Objektivierbarkeit „entgiftet". Im Fall des Wellenpakets kann man diese Komplementarität ganz vermeiden, wenn man statt der summarischen und daher unscharfen Begriffe „Ort" und „Wellenzahl" den völlig scharf definierten Begriff „Feldstärke" verwendet. In der Tat ist das klassische Wellenfeld durch die Angabe der Feldstärke als Funktion von Ort und Zeit ohne jede Unschärfe beschrieben.

Wir berühren damit einen für das Folgende grundsätzlich wichtigen Punkt. Man findet heute, zumal unter jüngeren Physikern, vielfach die Stimmung, die Komplementarität schränke doch eigentlich nur den Gebrauch veralteter Begriffe ein, deren Unschärfe inzwischen erkannt sei. Man müsse nur zu der angemessenen mathematischen Beschreibung des Sachverhalts vorstoßen und brauche dann nicht mehr über Komplementaritätsverhältnisse nachzudenken. Ich vermute, daß dies nicht die Absicht HUNDs mit seiner Definition war. Doch legt die Auflösung der Komplementarität von Ort und Wellenzahl durch die Einführung einer hinreichend vollständigen Beschreibung des Vorgangs offenbar den Verdacht nahe, daß dasselbe bei allen anderen Komplementaritätsverhältnissen auch möglich sein müßte. Diese Meinung ist falsch.

Die Begriffe „Ort" und „Impuls" gehören dem Teilchenbild an, die Begriffe „Ort" und „Wellenzahl" dem Wellenbild. „Ort" bedeutet in beiden Fällen also nicht dasselbe. Trotzdem beanspruchen beide Deutungen, dasselbe physikalische Gesetz, nämlich die Unbestimmtheitsrelation, zu erläutern. Der Zusammenhang wird durch die BORNsche *statistische Deutung* der Wellen gegeben. Diese Deutung erklärt, warum die Komplementarität im Teilchenbild erst in der Quantentheorie, im Wellenbild aber schon in der klassischen Theorie aufzutauchen schien. Die klassische lineare Wellentheorie ist formal identisch mit der Quantentheorie eines einzelnen Teilchens. Aber als Quantentheorie eines Teilchens, nämlich eben durch die statistische Deutung, bekommt die anschauliche Wellentheorie einen physikalischen Sinn, den sie als klassische Wellentheorie nicht hatte. Im klassischen Wellenbild bedeutet „Ort" die Stelle, an der sich eine Wellengruppe befindet, und wird somit vernünftigerweise nicht genauer angewandt werden als bis auf eine Ungenauigkeit, die dem Durchmesser der Wellengruppe vergleichbar ist. Im Teilchenbild ist „Ort" (in „lokalen" Theorien) die grundsätzlich beliebig genau meßbare Lagekoordinate eines punktförmigen Teilchens. Nach der Quantentheorie des Teilchens ist der ausgedehnte „Ort" des Wellenbildes der Bereich, in dem eine merkliche Wahrscheinlichkeit besteht, den punktförmigen „Ort" des Teilchenbildes bei einer Messung zu finden. Die Komplementarität der *quantentheoretischen* Begriffe (wie Ort und Impuls in der *Quantentheorie* der Teilchen) liegt also nicht daran, daß sie unscharf definiert wären, sondern daß ihre Meßwerte nur mit Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden können.

Aus diesem Grunde wollen wir im folgenden in unserer eigenen Untersuchung den Begriff der Komplementarität nicht im Sinne der zweiten, sondern der ersten Deutung verwenden.

Dritte Deutung: Komplementarität von Teilchen und Welle. Von dem Dualismus der beiden Bilder haben wir schon Gebrauch gemacht. Vielfach bezeichnet man diesen Dualismus ebenfalls als eine Komplementarität. Doch besteht hier noch eine Zweideutigkeit der Ausdrucksweise, die wir aufklären müssen, ehe wir uns BOHRs eigenen Formulierungen zuwenden.

Wir haben es jedenfalls mit einer Komplementarität auf einer höheren Stufe zu tun als zuvor, denn Teilchen und Welle sind nicht Begriffe *einer* klassischen Theorie, sondern bezeichnen zwei einander ausschließende klassische Theorien. Stehen aber beide überhaupt auf derselben Stufe? In der Diskussion der zweiten Deutung trat uns die Wellentheorie in zwei verschiedenen Bedeutungen entgegen: als klassische Theorie realer Wellen und als Quantentheorie eines Teilchens, d. h. als „Wahrscheinlichkeitswelle". Zwei Theorien gleicher Stufe, zwischen denen eine parallele Komplementarität behauptet werden könnte, erhält man nun bekanntlich, wenn man der klassischen Korpuskeltheorie des *Mehrteilchenproblems* die klassische Theorie *realer Wellen* gegenüberstellt. Beide Theorien kann man „quanteln" und erhält dann folgendes Schema:

Klassische Teilchentheorie des Mehrkörperproblems		Klassische dreidimensionale Wellentheorie
↓		↓
SCHRÖDINGERsche Wellentheorie des Konfigurationsraumes	=	Quantentheorie der Wellenfelder

Die Pfeile bedeuten den Übergang von einer klassischen Theorie zur entsprechenden Quantentheorie. Die beiden durch das Gleichheitszeichen verbundenen Theorien sind (solange die Teilchenzahl erhalten bleibt) mathematisch äquivalent, sind also eigentlich dieselbe Theorie in verschiedener Schreibweise. Liest man die Pfeile in umgekehrter Richtung, so kann man sagen: Dieselbe Quantentheorie hat zwei verschiedene klassische Grenzfälle. Die Komplementarität zwischen diesen beiden Grenzfällen kann man etwas abgekürzt so aussprechen[1]): Komplementäre Größen treten in der Quantentheorie als nichtvertauschbare Operatoren auf. Nun kann man in der Quantentheorie der Wellen die Feldstärken und die Teilchenzahlen als nichtvertauschbare Operatoren einführen. Die beiden klassischen Grenzfälle gehen davon aus, daß jeweils einer dieser beiden Operatoren auf Hauptachsen ist.

Diese parallele Komplementarität von Teilchen und Wellen führt nun aber zunächst gerade nicht zu der BOHRschen Deutung der Unbestimmtheitsrelation, denn für letztere sind die Wahrscheinlichkeitswellen maßgebend. Andererseits hat BOHR die Unbestimmtheitsrelation auf die Komplementarität von Teilchen

[1]) Vgl. Anhang.

und Wellen begründet. BOHR muß dann also eine Komplementarität zwischen der klassischen Teilchentheorie und ihrer eigenen Quantentheorie (d.h. den SCHRÖDINGER-Wellen im Konfigurationsraum) im Auge gehabt haben. Es scheint dann, als sei diese Quantentheorie mit der klassischen Wellentheorie nur deshalb „verwechselt" worden, weil der Konfigurationsraum des Einteilchenproblems dreidimensional ist. Zu dieser Vermutung ist dreierlei zu sagen.

Erstens zeigt ein Blick in BOHRS erste Arbeiten über Komplementarität, daß er in der Tat von einer nicht „parallelen" Auffassung der Komplementarität zwischen klassischen Begriffen und SCHRÖDINGER-Wellen ausgegangen ist. Dies wird im nachfolgenden Abschnitt besprochen.

Zweitens verbirgt sich in der Möglichkeit der „Verwechslung" der beiden Auffassungen der Wellentheorie ein noch ungelöstes Problem. Warum sind zwei Theorien, die in unserem bisherigen Verständnis eine so verschiedene Bedeutung haben, einander formal so ähnlich? Diese Ähnlichkeit hat bekanntlich zu der Bezeichnung der Quantelung der Wellen als „zweite Quantelung" geführt; in dieser Bezeichnung wird die klassische Welle mit der durch die „erste Quantelung" entstandenen SCHRÖDINGER-Welle des Einteilchenproblems identifiziert. Ich glaube die Lösung dieses Problems im 8. Abschnitt dieser Arbeit angeben zu können.

Drittens sollten wir die in der zweiten Deutung entstandene grundsätzliche Frage noch einmal angesichts der Quantentheorie der Wellen aufgreifen. Welchen Sinn soll es haben, von einer Komplementarität zwischen einer klassischen Theorie und der ihr zugeordneten Quantentheorie zu sprechen? Die klassische Theorie ist ja ein Grenzfall, also, so scheint es, gewissermaßen eine ungenaue Fassung der Quantentheorie. Rührt vielleicht die ganze Komplementarität und die mit ihr verbundene Einschränkung der Objektivität der Begriffe nur von der Ungenauigkeit her, die darin liegt, daß wir überhaupt klassische Begriffe gebrauchen? Ist vielleicht die ψ-Funktion des Konfigurationsraumes eine objektive, von allen Komplementaritäten freie Beschreibung des Naturgeschehens? Wir stellen die Frage nochmals so ausdrücklich, um BOHRS Auffassung von der Komplementarität ebenso ausdrücklich als negative Antwort auf eben diese Frage aussprechen zu können.

Der springende Punkt der Antwort wurde schon oben genannt Die klassischen Größen sind gar nicht ungenau definiert. Nur sie sind ja im Sinne der Quantentheorie Observable, also Größen, die — und zwar grundsätzlich beliebig genau — gemessen werden können. Die SCHRÖDINGER-Funktion ist hingegen nicht direkt, sondern nur statistisch meßbar. Sie ist nur ein „Informationskatalog"[1]) und ändert sich demgemäß unstetig, wenn neues Wissen gewonnen wird (Reduktion der Wellenpakete). Wir verweisen auf die von EINSTEIN, ROSEN und PODOLSKY[2]) ausgelöste Diskussion, in der die Nicht-Objektivität der ψ-Funktion ganz deutlich geworden ist, sowie auf die im 5. und 6. Abschnitt besprochenen Beispiele. Wir werden allerdings die Unterscheidung zwischen Observablen und ψ-Funktion im 8. Abschnitt relativieren. Aber der Sinn dieser Relativierung kann nur verstanden werden, wenn zunächst der Sinn der Unterscheidung verstanden ist.

3. BOHRS *ursprüngliche Auffassung: zirkuläre Komplementarität.*

Dieser Abschnitt soll nur dazu dienen, BOHRS eigene Auffassung zum Wort kommen zu lassen. Will man seine Denkweise verstehen, so muß man ihn, mehr als irgendeinen anderen Autor der modernen Physik, selbst lesen; vielleicht braucht man die Erfahrung des persönlichen Kontakts mit ihm, um auch die Eigentümlichkeiten seines Schreibstils richtig aufzufassen. Die Enttäuschungen, die man bei dieser Bemühung um seine Gedanken erfährt, sind wohl ebenso lehrreich wie die direkten Belehrungen. So würde man enttäuscht, wenn man z.B. in jenem Comoer Vortrag von 1927 eine Definition des neueingeführten Begriffs der Komplementarität suchte. Die Art, wie BOHR den Begriff dort benützt, ist selbst geeignet, uns an seinen eigenen Satz zu erinnern, „daß das Wesen unseres Bewußtseins ein Komplementaritätsverhältnis zwischen der Analyse jeden Begriffs und dessen unmittelbarer Anwendung bedingt" (A. u. N., S. 13). Fast unmerklich schleicht sich das Wort „komplementär" in einen Satz ein, und dann ist es da und wird gebraucht. Fehlt es so an einer einmaligen Definition, so ist umgekehrt fast jeder Satz, den BOHR dort und seitdem unter Verwendung des Wortes „komplementär" geschrieben hat, gleichzeitig eine mehr oder weniger ausführliche Umschreibung des mit diesem Wort gemeinten Sachverhalts. Dieses Verfahren übt BOHR spontan und, so ist man versucht zu sagen, unbewußt. Wollte man aber seinen methodologischen Hintergrund umschreiben, so könnte man sagen: Jede Definition setzt andere, undefinierte Begriffe voraus. Das Neue des Komplementaritätsbegriffs könnte daher beim Versuch, ihn streng zu definieren, nur in die bei der Definition benützten Begriffe versteckt werden; eine solche Definition bliebe stets zirkelhaft. Es bleibt nichts übrig, als sich bei jedem Gebrauch des Worts in all den vielen Zusammenhängen, in denen es steht, seinen Sinn so vollständig wie möglich zu vergegenwärtigen. Wir müssen es gleichsam so lange meditieren, bis wir ein völlig waches Bewußtsein für die Struktur der Wirklichkeit gewonnen haben, die in ihm angedeutet werden soll. Der Besitz dieses Bewußtseins hat BOHRS singuläre Stellung in der Entwicklung der Quantenphysik ausgemacht. Vielleicht darf hier an die Kopenhagener Anekdote erinnert werden, daß BOHR kurz nach der Entstehung der Quantenmechanik einem Jugendfreund die philosophische Bedeutung der neuen Theorie dargelegt habe, worauf er die Antwort erhielt: „Ja, BOHR, das ist sicher wahr. Aber du mußt doch zugeben, daß du das alles vor 20 Jahren auch schon gesagt hast."

Jener erste Satz, in dem BOHR das Wort „komplementär" verwendet, lautet: „Nach dem Wesen der Quantentheorie müssen wir uns also damit begnügen, die Raum-Zeit Darstellung und die Forderung der Kausalität, deren Vereinigung für die klassischen Theorien kennzeichnend ist, als komplementäre, aber einander ausschließende Züge der Beschreibung des

[1]) Mündliche Äußerung von W. PAULI. — *Anmerkung bei der Korrektur:* Herr PAULI weist mich darauf hin, daß E. SCHRÖDINGER, Naturwiss. **23**, 807, 823, 844 (1935), §7 die ψ-Funktion als „Katalog der Erwartung" bezeichnet.

[2]) EINSTEIN, A., B. PODOLSKY u. N. ROSEN: Physic. Rev. **47**, 777 (1935). — BOHR, N.: Physic. Rev. **48**, 696 (1935).

Inhalts der Erfahrung aufzufassen, die die Idealisation der Beobachtungs- bzw. Definitionsmöglichkeiten symbolisieren" (A. u. N., S. 36). Man möchte sagen: in jedem Wort dieses Satzes ist der ganze BOHR gegenwärtig; man könnte ein Buch mit der Verfolgung aller Gedankenketten füllen, die in diesen Worten mitgedacht sind. Hier heben wir nur wenige heraus.

BOHR sagt: „komplementäre, aber einander ausschließende Züge". Er hört also in „komplementär" vor allem die Bedeutung „zusammengehörig", „einander ergänzend". Vielleicht darf ich hier die persönliche Erinnerung einflechten, daß die einzigen abendländischen Philosophen, die ich BOHR oft und mit Nachdruck zitieren gehört habe, SOKRATES und WILLIAM JAMES waren; und das Denken in einer Bewegung, die es nicht zum Gefrieren der Begriffe in einem eindeutigen System kommen läßt, ist der SOKRATIschen Dialektik und dem JAMESschen Pragmatismus gemeinsam. Vielleicht darf man im „Pluralismus" von JAMES eine Vorstufe des Komplementaritätsbegriffs sehen[1]). Wenn nun Denker, die zum System neigen, hier die Gefahr des Auseinanderfallens der Gedankenwelt fürchten, so ist der Ton des „einander ergänzend" in „komplementär" besonders wichtig.

Das, was zueinander komplementär ist, heißt hier: „die Raum-Zeit-Darstellung und die Forderung der Kausalität". Wir betrachten zur Erläuterung ein paar Sätze, die dem eben zitierten vorangehen: „In der Tat beruht unsere gewöhnliche Beschreibung der Naturerscheinungen letzten Endes auf der Voraussetzung, daß die in Rede stehenden Phänomene beobachtet werden können, ohne sie wesentlich zu beeinflussen... Nun bedeutet aber das Quantenpostulat, daß jede Beobachtung atomarer Phänomene eine nicht zu vernachlässigende Wechselwirkung mit dem Messungsmittel fordert, und daß also weder den Phänomenen noch dem Beobachtungsmittel eine selbständige physikalische Realität im gewöhnlichen Sinne zugeschrieben werden kann... Einerseits verlangt die Definition des Zustandes eines physikalischen Systems, wie gewöhnlich aufgefaßt, das Ausschließen aller äußeren Beeinflussungen; dann ist aber nach dem Quantenpostulat auch jede Möglichkeit der Beobachtung ausgeschlossen, und vor allem verlieren die Begriffe Zeit und Raum ihren unmittelbaren Sinn. Lassen wir andererseits, um Beobachtungen zu ermöglichen, eventuelle Wechselwirkungen mit geeigneten, nicht zum System gehörigen, äußeren Messungsmitteln zu, so ist der Natur der Sache nach eine eindeutige Definition des Zustandes des Systems nicht mehr möglich, und es kann von Kausalität im gewöhnlichen Sinne keine Rede sein" (A. u. N., S. 35 bis 36).

Um zunächst genau zu sehen, was „Raum-Zeitbeschreibung" heißt, vergegenwärtigen wir uns hier BOHRs Antwort auf den oft geäußerten Gedanken, mit dem wir den vorigen Abschnitt abschlossen: man möge auf die klassischen Begriffe als veraltet überhaupt verzichten. „Bei der Beurteilung dieser Verhältnisse darf jedoch nicht vergessen werden, daß wir trotz ihrer Begrenzung keineswegs die Anschauungsformen entbehren können, mit deren Hilfe letzten Endes alle Erfahrungen ausgedrückt werden, und die die ganze Sprache färben" (A. u. N., S. 3). „For this purpose, it is decisive to recognize that, however far the phenomena transcend the scope of classical physical explanation, the account of all evidence must be expressed in classical terms. The argument is simply that by the word ‚experiment' we refer to a situation where we can tell others what we have done and what we have learnt and that, therefore, the account of the experimental arrangement and of the results of the observations must be expressed in unambiguous language with suitable application of the terminology of classical physics"[2]). Die „Anschauungsformen" sind Raum und Zeit, und ohne Bezugnahme auf die Problematik der KANTschen Philosophie spricht BOHR die auch von KANT benutzte und bisher durch kein Gegenbeispiel widerlegte Überzeugung aus, daß wir nicht wissen, wie wir physische Erfahrung anders machen und mitteilen sollen als in Raum und Zeit. Daß die Begriffe der klassischen Physik die einzigen seien, die der Forderung der Raum-Zeit-Beschreibung genügen, hat BOHR nie ausführlich begründet. Es ist ihm als Physiker wohl selbstverständlich, da alle nichtklassischen Begriffsbildungen der neueren Physik unsere Raum-Zeit-Anschauung überschreiten; die klassische Physik ist ihm einfach empirisch diejenige, die in unserer Anschauungswelt gilt. Die Unentbehrlichkeit der klassischen Begriffe beruht also nach BOHR einfach darauf, daß wir kein leeres Formelspiel, sondern Physik betreiben, also von wirklich Erfahrbarem reden wollen. Deshalb verlieren bei völliger Trennung von Gegenstand und Beobachter „die Raum-Zeit-Begriffe ihren unmittelbaren Sinn".

Die „Forderung der Kausalität" andererseits versteht BOHR im Sinne des Determinismus. Der Zustand eines abgeschlossenen Systems zu einer Zeit soll den Zustand zu jeder anderen Zeit eindeutig determinieren. Beschreiben wir den Zustand durch meßbare klassische Größen, so erfüllt die Quantenphysik, wie wir wissen, diese Forderung nicht. Hingegen gestattet die SCHRÖDINGER-Gleichung eine deterministische Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der ψ-Funktion. Die ψ-Funktion aber ist nicht in Raum und Zeit unserer Anschauung definiert. Sowie wir eine raumzeitliche Aussage experimentell gewinnen, also eine klassische Größe messen, ändert sich die ψ-Funktion unstetig, wenn nicht zufällig der Meßwert vorher schon eindeutig determiniert war; denn andernfalls war ja unmittelbar vor der Messung die Wahrscheinlichkeit gerade dieses Meßergebnisses von eins verschieden, unmittelbar nach der Messung aber ist der Meßwert gewiß, seine Wahrscheinlichkeit also eins. Diese „*Reduktion der Wellenpakete*" bei den Messungen, im Wechsel mit ihrer kontinuierlichen und determinierten Entwicklung zwischen den Messungen beschreiben wir mit BOHR als Komplementarität von Raum-Zeit-Darstellung und Determinismus: die deterministische Beschreibung des Systems involviert den Verzicht auf die raum-zeitliche Beschreibung, die raum-zeitliche den Verzicht auf die deterministische.

Die Komplementarität zwischen der Raum-Zeit-Beschreibung und der Forderung der Kausalität ist also genau die Komplementarität zwischen der Be-

[1]) Vgl. BAUMGARTEN, E.: Der Pragmatismus, Frankfurt 1938, S. 186.

[2]) BOHR, N.: Discussion with EINSTEIN, p. 201—241, in ALBERT EINSTEIN: Philosopher-Scientist, ed. P. Schilpp, The Library of Living Philosophers, vol VII, p. 209. Evanston, Ill. 1949.

schreibung der Natur durch klassische Begriffe und durch die ψ-Funktion. Dies ist keine „parallele Komplementarität" im Sinne des vorigen Abschnitts. Vielleicht darf man als den „*Zirkel der Erkenntnis*" die Tatsache bezeichnen, daß unsere Erkenntnis Voraussetzungen a priori hat, die gleichwohl durch die mit ihrer eigenen Hilfe gewonnenen inhaltlichen Erkenntnisse rückwirkend korrigiert und umgedeutet werden. Da die BOHRsche Auffassung, die wir soeben besprechen, von der Anerkennung dieses Zirkels ausgeht, wollen wir die Komplementarität, von der er hier spricht, „*zirkuläre Komplementarität*" nennen.

Das „Komplementaritätsbewußtsein", das BOHR schon zur Quantenmechanik mitbrachte, bezog sich wohl auf die zirkuläre Komplementarität. Von dieser Art ist z. B. die oben zitierte Komplementarität zwischen der Definition (oder Analyse) eines Begriffs und seinem unmittelbaren Gebrauch. Ich verstehe Begriffe besser, wenn ich sie durch eine Definition analysiere; aber ich kann nur definieren, wenn ich schon Begriffe unmittelbar verstehe. In derselben Richtung gehen BOHRs vielfache Hinweise auf Komplementaritäten in der Psychologie, so z. B. daß die Verwendung des Begriffs „ich will" bereits Situationen ausschließt, in denen man „kausale Analyse vernünftigerweise versuchen" kann[1]). Dasselbe meint die oft von ihm ausgesprochene „alte Wahrheit, daß wir sowohl Zuschauer als Teilnehmer in dem großen Schauspiel des Daseins sind" (A. u. N., S. 77). Das Tertium comparationis mit der Quantenphysik ist stets die Unmöglichkeit, Subjekt und Objekt der Erkenntnis zu trennen, da das Subjekt selbst zu der Welt seiner Objekte gehört und ihm die Objekte andererseits nur als *seine* Objekte gegeben sind. Auch daß BOHR neuerdings von der Komplementarität zwischen Liebe und Gerechtigkeit spricht[2]), müssen wir wohl so verstehen; die Liebe ist das spontane Verhalten des Ich zum Du, die Gerechtigkeit das Einteilen, das mich unter meinesgleichen einordnet. Immer wenn BOHR von diesen Dingen spricht, spüren wir, daß er selbst in dem Augenblick, in dem er spricht, nicht nur Zuschauer, sondern Mitspieler ist. Darum bewegt und überzeugt er über das Maß, in dem wir ihm begrifflich folgen können oder wollen, hinaus.

Eine besondere Beachtung verdienen BOHRs Gedanken zur Biologie. „Die strenge Anwendung derjenigen Begriffsbildungen, welche der Beschreibung der leblosen Natur angepaßt sind, dürfte in einem ausschließenden Verhältnis stehen zu der Berücksichtigung der Gesetzmäßigkeiten der Lebenserscheinungen" (A. u. N., S. 14). Damit wird die Meinung nicht bestritten, daß im Organismus alles nach der Physik Vorhersagbare auch gemäß der Vorhersage geschehen werde. Um aber das Verhalten eines Organismus vollständig vorherzusagen, müßte man seinen aktuellen Zustand vollständig kennen; und einer solchen Analyse ist vielleicht „eine prinzipielle Grenze gesetzt . . . durch das Absterben des Organismus bei dem Eingriff, welchen eine vom atomtheoretischen Gesichtspunkt möglichst vollständige Beobachtung fordert" (A. u. N., S. 14). Versteht man diesen Gedanken im Sinne einer parallelen Komplementarität zwischen Physik und Biologie, ähnlich der zwischen Teilchen und Wellen, so muß ich gestehen, daß er mich heute nicht mehr überzeugen würde. Soweit es sich um dasjenige Verhalten der Lebewesen handelt, das physikalisch festgestellt werden kann, sieht wohl die Mehrzahl der heutigen Biologen keine Notwendigkeit, zur Erklärung andere als physikalische Begriffe zu verwenden, sofern dabei die Geschichtlichkeit der Natur berücksichtigt wird. Ganz anders wird die Lage, wenn wir bedenken, daß uns auch Lebewesen, wenigstens die höheren Tiere, als Subjekte, als Partner im Leben, begegnen. Dann müßte man auch die vermutete biologische Komplementarität als eine Ausprägung der einen großen zirkulären Komplementarität verstehen, die alles menschliche Erkennen beherrscht. Ich wage nicht, diesen Gedanken hier auszuspinnen. Jedenfalls würde er das Problem aus einer fachlichen Angelegenheit der Biologie wieder zu einer umfassenderen Frage machen; denn offenbar käme es dann auch für die Biologie auf ein möglichst deutliches Verständnis eben derjenigen zirkulären Komplementarität an, die schon in der Atomphysik eine Rolle spielt.

Wir werden jetzt besser verstehen, warum BOHR nicht innerhalb der Physik eine exakte Definition der Komplementarität hat geben können. Solche Definitionen konnten gegeben werden für die verschiedenen Formen der parallelen Komplementarität. Hier unterscheidet sich das Denken, das die Definition gibt, klar von dem Gegenstand, über den in der Definition etwas ausgesagt wird. Im Gedanken der zirkulären Komplementarität aber wird wesentlich über die Bedingungen nachgedacht, unter denen *alles* objektivierende Denken steht. Eine exakte Definition der zirkulären Komplementarität wäre also eine objektivierende Angabe der Bedingungen der Möglichkeit des Objektivierens. Es ist nicht selbstverständlich, daß so etwas überhaupt möglich ist, und es ungeprüft zu fordern, hieße, unter dem Anschein der Exaktheit einem Mangel an Strenge des Denkens zu verfallen. Ebenso voreilig wäre es freilich, zu glauben, was nicht in der Form der objektivierenden Exaktheit ausgesprochen sei, könne überhaupt nicht denkend erfaßt werden.

Eine Frage, die jedenfalls mit dem Grad von Deutlichkeit beantwortbar sein müßte, mit dem wir überhaupt bisher verstanden haben, was zirkuläre Komplementarität ist, ist die folgende: Wie verhält sich in der Quantenphysik selbst die zirkuläre Komplementarität zur parallelen? Eine erste Annäherung an die Antwort ist vielleicht die Formulierung: In der parallelen Komplementarität zeigt sich, wie de facto die Objektivierung mit Hilfe einer bestimmten Fragestellung die gleichzeitige Objektivierung mit Hilfe einer anderen Fragestellung ausschließt. Im „Zirkel der Erkenntnis" sehen wir demgegenüber, warum wir dieser Tatsache nicht dadurch entgehen können, daß wir auf die betreffenden Fragestellungen überhaupt verzichten.

Historisch hat HEISENBERG in der Unbestimmtheitsrelation den ersten Fall paralleler Komplementarität aufgefunden; nicht dem Wort, aber der Sache nach ist er der Entdecker dieses Begriffs. BOHR hingegen hatte von jeher ein philosophisches Verständnis der zirkulären Komplementarität. Diese fand er im Verhältnis der klassischen Begriffe zur ψ-Funktion wieder und erkannte in ihr den *Grund* der Unbe-

[1]) BOHR, N.: Dialectica 1, 312 (1948).

[2]) BOHR, N.: Atomerne og vor erkendelse, Berlingske Tidende, 2. 4. 1949, Physical Science and the Study of Religions, Studia Orientalia Ioanni Pedersen, S 385. 1953.

stimmtheitsrelation. Indem er den Ort korpuskular verstand, Impuls und Energie aber durch die DE BROGLIEsche und PLANCKsche Beziehung der Wellenfunktion zuordnete, erschien die parallele Komplementarität direkt als ein Ausdruck der zirkulären. Durch die Transformationstheorie ist dieser Standpunkt aber, wie mir scheint, überholt. Der Übergang von der SCHRÖDINGER-Welle zur anschaulichen DE BROGLIE-Welle gab wiederum Anlaß zur Verwechslung der zirkulären Komplementarität mit einer parallelen. Doch hat BOHR selbst vor der Parallelisierung von Wellen und Teilchen stets gewarnt (A. u. N., S. 11), indem er auf den nur „symbolischen" Charakter der Materiewellen einerseits, der Lichtquanten andererseits hinwies. Wir müssen hierzu wieder auf den 8. Abschnitt dieses Aufsatzes verweisen.

Eine Schwierigkeit aller bisher besprochenen Formulierungen liegt in ihrer Belastung mit physikalischem Detail; sie appellieren daher in kaum kontrollierbarer Weise an das „instinktive Verständnis", das Physiker für ihre Theorien haben sollten. Wollen wir dieses Detail so weit wie möglich vermeiden, so werden wir von selbst zu der Frage nach der *logischen* Struktur des Komplementaritätsbegriffs geführt.

4. Der Gedanke einer Komplementaritätslogik.

Wir haben die Komplementarität als eine *Relation zwischen Begriffen* eingeführt. „Begriff" ist ein Begriff der Logik. Es liegt nahe, die Komplementarität als eine neuartige logische Kategorie anzusehen. Noch deutlicher wird dies, wenn wir, wie es schon im Anschluß an die erste Deutung der parallelen Komplementarität geschah, zur Komplementarität von *Aussagen* übergehen. Die Aussagen X: „dieses Teilchen hat den Ort x" und P: „dieses Teilchen hat den Impuls p" sind komplementär. Es sei P wahr. Ist X dann wahr oder falsch? Wäre X wahr, so müßte man das Teilchen sicher am Ort x vorfinden, wäre X falsch, so müßte man es sicher nicht dort vorfinden. In Wirklichkeit kann beides eintreten, und welches von beiden, läßt sich nicht sicher vorhersagen. Die naheliegende Antwort ist: X ist zwar an sich wahr oder falsch, wir wissen aber nicht, welcher von beiden Fällen vorliegt. Die BOHR-HEISENBERGsche Deutung der Quantentheorie lehnt bekanntlich diese Auffassung ab. Wir wollen diese Deutung hier nicht rechtfertigen, sondern nur analysieren. Trifft sie zu, so ist X, wenn P wahr ist, weder wahr noch falsch. Damit ist, so scheint es, der Satz vom ausgeschlossenen Dritten verletzt. Zwar gilt er noch in dem eingeschränkten Sinne: „Wenn eine Aussage entschieden ist, so ist sie wahr oder falsch"; aber sie kann „unentschieden" sein. In der Sprache v. NEUMANNS: der Projektionsoperator hat nur die Eigenwerte 1 und 0, aber er braucht nicht auf Hauptachsen zu sein. Wir vermuten also, die Quantenphysiker benutzten tatsächlich, wenn auch vielleicht meist unbewußt, seit der Entdeckung der Komplementarität eine Logik, die von der klassischen abweicht. Wir müssen dann nach den Gesetzen dieser Logik fragen.

Wir wollen uns aber von Anfang an den wichtigsten Einwand gegen die Möglichkeit eines solchen Programms klarmachen. Es ist wiederum BOHR, der ihn formuliert hat: „Incidentally, it would seem that the recourse to threevalued logic, sometimes proposed as means for dealing with the paradoxical features of quantum theory, is not suited to give a clearer account of the situation, since all well-defined experimental evidence, even if it cannot be analysed in terms of classical physics, must be expressed in ordinary language making use of common logic"[1]).

Wir wollen zunächst nicht diesen Einwand selbst, sondern eine inhaltlich verwandte, aber doch abweichende Fassung besprechen, die gegenüber dem Gedanken einer Abänderung der Logik häufiger vorgebracht wird. Man sagt: „Schon die Sprache, in der wir eine mehrwertige Logik erklären, setzt die klassische zweiwertige Logik voraus. Wer diese Sprache benützt, leugnet also schon durch ihren Gebrauch die Gültigkeit der neuen Logik, die er einführen will." Dieses Bedenken habe ich, unter besonderer Berücksichtigung der Quantenmechanik, in einer Besprechung der PICHTschen Arbeit[2]) erörtert und möchte hier nur die dort von mir vertretene Auffassung, die wohl von vielen heutigen Logikern geteilt werden würde, kurz wiederholen. Die Logiker unterscheiden seit TARSKI[3]) zwischen der *Objektsprache*, d.h. der Sprache, über deren logische Struktur man spricht, und der *Metasprache*, d.h. der Sprache, in der man über die Objektsprache spricht. Die logische Struktur beider Sprachen kann verschieden sein. Die Arbeit von BIRKHOFF und v. NEUMANN z.B. beschreibt die Quantentheorie (d.h. die Mathematik der Wellenmechanik im Konfigurationsraum bzw. HILBERT-Raum) als Objektsprache. Ihre Metasprache ist, wie Logiker sich ausdrücken würden, die englische Umgangssprache. Setzt man nun auch voraus, daß in letzterer die klassische Logik gelte, so besteht doch kein formaler Grund, warum dieselbe auch in der Objektsprache gelten sollte.

Die im folgenden darzustellenden Überlegungen haben mich aber über diesen Standpunkt hinausgeführt. Zunächst gibt er keine volle Antwort auf BOHRS Bedenken. BOHR redet nicht von der Sprache, in der man über die Logik der Quantentheorie spricht, sondern von der Sprache, in der man experimentelle Ergebnisse mitteilt. Diese ist offenbar ein Teil der Sprache der Physik selbst. Im Sinne der TARSKIschen Einteilung wird man also vermuten, daß sie uns als ein Teil der Objektsprache begegnen werde. Doch ist das nicht ganz selbstverständlich. Die Objektsprache wird von den Logikern formalisiert, d.h. als mathematischer Formalismus hingeschrieben. Die Sprache, in der wir experimentelle Ergebnisse mitteilen, ist aber zunächst eine „natürliche Sprache". Gerade sie liefert den Wortschatz, mit dessen Hilfe wir den Formalismus der Quantentheorie erst deuten können. Ist er gedeutet, so läßt sich nachträglich zwar nicht die ganze natürliche Sprache, aber doch der Wortschatz der klassischen Physik auf einen Teil der mathematischen Objektsprache der Quantentheorie abbilden. Das geschieht, indem man die klassische Physik als einen Grenzfall der Quantenphysik darstellt. Für die Quantenphysik kennzeichnend ist also die nachträgliche Verschmelzung eines Teiles der Metasprache mit

[1]) BOHR, N.: Dialectica 1, 317 (1948).
[2]) WEIZSÄCKER, C. F. v.: Göttingische Gelehrte Anzeigen 208, 117 (1954).
[3]) TARSKI: Der Wahrheitsbegriff in den formalisierten Sprachen, Studia Philosophica, Commentarii Societatis Philosophicae Polonorum, vol 1, Leopoli 1935. — (Vorhanden im Logistischen Seminar der Universität Münster.)

der Objektsprache. Man kann BOHRS Bedenken daher zunächst ganz vorsichtig so umformulieren: die Forderung, daß diese Verschmelzung möglich sein solle, wird vermutlich der Objektsprache gewisse einschränkende Bedingungen auferlegen.

Offensichtlich haben wir soeben einfach den Gedanken des „Zirkels der Erkenntnis" wiederholt. Es ist verblüffend, wie sich dieser Gedanke fast in jeder grundsätzlichen Äußerung BOHRS aufspüren läßt. Der entscheidende Gedanke ist hier: Etwas faktisch Geschehenes eindeutig mitteilen kann man nur in einer „objektivierenden" Sprache; eine solche setzt aber die klassische Logik voraus.

Ich hoffe, hiermit dem Gedanken BOHRS gerecht geworden zu sein. Unter dieser Voraussetzung möchte ich nun gegen ihn den Einwand erheben, daß er hinter BOHRS eigener Erkenntnis der zirkulären Komplementarität zurückbleibt und auf dem Standpunkt des unabänderlichen Apriori verharrt. Könnte nicht das Verhältnis der klassischen Logik zur Komplementaritätslogik genau dasselbe sein wie das der klassischen Physik zur Quantenphysik? *Dann wäre die klassische Logik zwar das methodische Apriori, das wir bei der Formulierung der Komplementaritätslogik benutzen müssen. Aber soweit heute unsere Kenntnisse reichen, müßte man die Komplementaritätslogik als die wahre Logik ansprechen, welche die klassische Logik als einen in vielen Fällen hinreichenden Grenzfall enthielte.* Diese Hypothese ist der Kern der vorliegenden Arbeit. Sie ist zwar für die Abschnitte fünf bis sieben nicht notwendig; in ihnen bleiben die Logiken von Objektsprache und Metasprache streng getrennt. Hingegen beruht der 8. Abschnitt ausschließlich auf ihr.

Es sei noch ein Wort über den Umfang der Hypothese gesagt. In ihrer Formulierung wurde der Ausdruck „die wahre Logik" verwendet. Vielen Logikern, zumal von positivistischer oder formalistischer Richtung, könnte dieser Ausdruck als ein Rückfall in den dogmatischen Glauben an eine a priori gegebene Logik erscheinen; sie würden vielleicht leugnen, daß es eine einzige „wahre" Logik überhaupt gebe. Man könnte den Einwand auch so aussprechen: „wahr" sei ein Prädikat von Aussagen, dem nur in einer jeweils formal überschaubaren Objektsprache ein eindeutiger Sinn gegeben werden könne; die Definition dieses Sinnes sei Sache einer Metasprache, die aber nicht die Möglichkeit biete, zugleich für ihre eigenen Sätze einen eindeutigen Wahrheitsbegriff zu formulieren. Daher sei die Anwendung des Prädikats „wahr" auf die Logik selbst prinzipiell undefiniert und somit zu vermeiden.

Man kann diesem Einwand ausweichen, wenn man statt „die wahre Logik" „eine der heutigen Physik angepaßte Logik" sagt. Der sachliche Inhalt des vorliegenden Aufsatzes ist mit dieser eingeschränkten Formulierung vereinbar; ein weitergehender Anspruch kann daher auf ihn nicht gegründet werden. Doch möchte ich nicht verschweigen, daß das philosophische Interesse, das mich bei diesen Überlegungen geleitet hat, einer umfassenderen Deutung der Komplementaritätslogik zuneigt. Vielleicht darf ich das doch in einer Erläuterung des oben gemeinten Sinnes von „wahr" andeuten.

Zunächst ist kein definitorisch festgelegter Sinn von Wahrheit gemeint, etwa im Sinne der TARSKIschen Definition, sondern das Wort „wahr" ist gleichsam naiv im Sinne des ungefähren Verständnisses der „natürlichen Sprache" verwendet. Im Sinne des Zirkels der Erkenntnis kann man auf ein solches Vorverständnis nicht verzichten; man muß nur bereit sein, es nachträglich zu modifizieren. Wir wollen nun zunächst mehr an den Sprachgebrauch der Physiker als an den der Mathematiker anknüpfen. Eine „wahre Theorie" ist für den heutigen Physiker nie „absolut wahr", sondern weiterer Verbesserung zugänglich. Aber sie hat einen, vielleicht wiederum nicht scharf abgrenzbaren Geltungsbereich, und für diesen ist sie dann wenigstens eine von unendlich vielen möglichen mathematisch isomorphen Formulierungen der über diesen Bereich erkannten Wahrheit. Sie ist ein Modell der abstrakten Struktur der in diesem Bereich herrschenden Gesetzmäßigkeiten. Alle soeben verwendeten Begriffe sind natürlich ebensowenig wie der Begriff der Wahrheit streng definiert; wir befinden uns in einem „Gemälde von Worten" im Sinne BOHRS. Wenn nun die Quantenphysik eine nichtklassische Logik enthält, so ist diese Logik eben im jetzt geschilderten Sinne eine „wahre Logik". Soweit ist nur die eingeschränkte Formulierung unserer Hypothese nochmals umschrieben.

Das Problem des Umfangs der Hypothese steckt in dem bestimmten Artikel: „die" wahre Logik. Es ist wohl klar, daß dies nicht im Sinne des Apriorismus gemeint ist, da wir die Komplementaritätslogik aus einer speziellen, empirisch fundierten Theorie der Physik herausanalysieren. Aber vielleicht steckte im Apriorismus ein Bewußtsein von der Einheit des Gegenstandes der Logik, das dem neueren Relativismus vielfach abhanden gekommen ist. Der Physiker spricht mit naiver Selbstverständlichkeit von „der" Physik, denn er hat es ja mit „der" Natur zu tun. Spricht man von verschiedenen Physiken, so meint man entweder verschiedene Teile oder verschiedene Formulierungen der Physik oder aber wahre und falsche Meinungen über die Physik. Wenn die Logik überhaupt einen Gegenstand hat, so liegt der Gedanke nahe, daß das Wesen dieses Gegenstandes auch nur von *einer* Logik (bzw. allen ihren isomorphen Bildern) adäquat abgebildet würde. Die Frage, was der Gegenstand der Logik sei, überschreitet bei weitem den Rahmen dieses Aufsatzes; es könnte auch sein, daß die Ergebnisse der hier vorzutragenden Überlegungen die Sprache modifizieren könnten, in der man diese Frage zu beantworten sucht. Man wird aber jedenfalls den Gegenstand der Logik für „allgemeiner" ansehen als den der Physik. So etwa sagt SCHOLZ[1]) im Anschluß an LEIBNIZ, die Logik, die er eben deshalb dort als eine Metaphysik anspricht, spreche Wahrheiten aus, die „in jeder möglichen Welt gelten". PICHT[2]) nennt die Sätze der Logik „erkannte Seinsgesetze", aber „Seinsgesetze für mögliches Seiende". Beide betonen, daß diese Erkenntnisse nicht unkritisierbar sind, sondern Voraussetzungen von „Ontologien" formulieren[3]). Es wäre denkbar, daß uns am Beispiel der heutigen Physik Strukturen des Seienden deutlich geworden wären, die mit der ontologischen Hypothese, welche der klassischen Logik zugrunde liegt, unvereinbar wären.

[1]) SCHOLZ, H.: Metaphysik als strenge Wissenschaft. Köln 1941.

[2]) PICHT, G.: In CL. MÜNSTER u. G. PICHT: Naturwissenschaft und Bildung, S. 62—64. Würzburg 1953.

[3]) SCHOLZ, H.: Vorlesungen über Grundzüge der mathematischen Logik. Münster 1950. Vorwort zur 2. Auflage.

Doch verzichten wir hier darauf, diese Vermutung an Bereichen außerhalb der Physik zu prüfen.

Es sollen noch einige mehr technische Fragen vorweg besprochen werden.

Wir werden methodisch die zweiwertige Logik voraussetzen. Ob das schon durch den Gebrauch der natürlichen Sprache geschieht, ist ungewiß, da der Wahrheitsbegriff der natürlichen Sprache nicht präzisiert und nach TARSKI vielleicht nicht präzisierbar ist. Wie im 6. Abschnitt erörtert, benützen wir aber Mathematik, um die mehrwertige Logik auszusprechen, und diese Mathematik verstehen wir selbst als eine der zweiwertigen Logik unterworfene Disziplin. Wenn aber die klassische Logik als ein Grenzfall der Komplementaritätslogik aufgefaßt werden kann, so kann man nachträglich die Vermutung prüfen, auch die Aussagen über die mehrwertige Logik genügten in Wahrheit einer mehrwertigen Logik. Die Formulierung dieser Vermutung selbst bedient sich dann aber wieder zunächst der klassischen Logik in einer nächsthöheren Metastufe. Der Zirkel der Erkenntnis stellt sich nun also in einem Stufenaufbau der Logik dar. Dieser ist der Gegenstand des 8. Abschnittes. Während der Gedanke der „ganzen Logik", die alle diese Stufen zugleich umfaßt, abstrakt gedacht werden kann, habe ich keine andere Möglichkeit ihrer objektivierenden (also z. B. mathematischen) Darstellung gefunden als eben diese Stufentheorie.

Wir werden die Komplementaritätslogik als eine Modifikation der *Aussagenlogik* darstellen. Doch ist der verwendete Begriff der Aussage nicht der in der Mathematik übliche, sondern gemäß dem physikalischen Sprachgebrauch gebildet. Wir nannten im 2. Abschnitt Begriffe wie Ort und Impuls Klassen von Prädikaten. Die Prädikate sind dann die möglichen Zahlwerte der Observablen x und p. Die möglichen Subjekte sind physikalische Gegenstände, z. B. Elektronen, Sterne, Stühle ... Eine physikalische Aussage ist also z. B.: „dieses Elektron hat den Ort x" „Mars steht am Horizont", oder auch: „es regnet". Solche Aussagen sind auch nach der klassischen Physik nicht an sich wahr oder falsch, sondern bedürfen einer Bestimmung des Zeitpunktes und sonstiger näherer Umstände: „es regnet am 6. 7. 55 mittags auf dem Marktplatz in Göttingen". Man könnte sie Aussagefunktionen nennen, die durch Einsetzung von Ort und Zeit zu Aussagen im Sinne der Logik werden. Um sie von den Aussagefunktionen der mathematischen Logik zu unterscheiden, deren Argumentwerte Eigennamen oder andere Aussagen sind, vermeide ich diesen Namen lieber und nenne sie *kontingente*[1]) *Aussagen*. Die in der mathematischen Logik meist benutzten Aussagen sollen demgegenüber *zeitlose Aussagen* heißen. BIRKHOFF und v. NEUMANN sprechen hier nicht von Aussagen, sondern von „qualities", also möglichen Prädikaten physikalischer Gegenstände.

Der Ausdruck „kontingente Aussage" scheint mir bequem, um die Sprechweise der mehrwertigen Logik einzuführen. Dabei ist zu beachten, daß die Einführung mehrerer Wahrheitswerte inhaltlich einen Sinn hat, der auf zeitlose Aussagen nicht ohne weiteres angewandt werden kann. „Dieses Teilchen hat den Ort x" ist eine Aussage, die unter geeigneten Umständen wahr oder falsch sein *kann*. Wenn man sagt, daß *dieselbe* Aussage unter anderen Umständen weder wahr noch falsch sei, so macht man in diesem „dieselbe" Gebrauch von der Allgemeinheit des Prädikats „x"; es hat eben einen Sinn, zu sagen, verschiedene Dinge seien oder dasselbe Ding zu verschiedenen Zeiten sei in „demselben" Zustand. Hätte man hingegen eine zeitlose Aussage, also z. B. entweder einen Satz von der Gestalt eines Universalurteils oder einen Satz von der Form einer faktischen Mitteilung, von der man wüßte, daß sie weder wahr noch falsch sei, so bliebe theoretisch immer der Ausweg, zu sagen, sie sei gar keine Aussage, sondern eine sinnlose Kombination von Worten. Der genaue logische Sinn der Mehrwertigkeit kann also nur im Rahmen einer Diskussion des Begriffs der Allgemeinheit geklärt werden. Das soll aber in diesem Aufsatz nicht versucht werden.

[1]) Kontingent (von *contingit*, es trifft sich) heißt in der philosophischen Tradition das, was auch anders sein könnte, im Gegensatz zum Notwendigen.

(Schluß folgt.)

Ein Fluorometer für Papierchromatogramme.

Von ALFRED KÜHN, Tübingen.

Es hat sich gezeigt, daß mit einfachen papierchromatographischen Methoden wertvolle Aufschlüsse über chemische Genwirkungen zu gewinnen sind[1]), [2]). Außer durch in gewöhnlichem Licht sichtbare Pigmente und durch Reagenzien sichtbar zu machende Stoffe unterscheiden sich verschiedene Arten und Mutationsrassen in ihren Organen durch die Muster ihrer fluoreszierenden Stoffe, die sich mit verschiedenen Lösungsmitteln entwickeln lassen. Um relative Unterschiede in der Menge fluoreszierender Stoffe und absolute Mengen bestimmter Stoffe festzustellen, wurden im allgemeinen die Fluoreszenzflecken aus ein- oder zweidimensionalen Chromatogrammen extrahiert. Wenn geringe Substanzmengen verschiedener Herkunft messend verglichen werden sollen, ist dies Verfahren unzweckmäßig. Sind zahlreiche Chromatogramme von Organen kleiner Organismen (z. B. bei der Aufarbeitung von Kreuzungen von Insekten) auszuwerten, so ist es erwünscht, daß die Papierchromatogramme für spätere Vergleichungen erhalten bleiben. Photometrierbare Lösungen erfordern im allgemeinen Stoff aus mehreren Chromatogrammen, und zu der biologischen Variabilität treten Fehler des Aufarbeitungsverfahrens. Häufig können erst die Messungen der Einzelchromatogramme zeigen, welche davon für die Gewinnung größerer Substanzmengen zusammengeworfen werden dürfen. Zudem ist die exakte Herstellung der Extrakte sehr zeitraubend. Es wurde deshalb ein empfindliches Verfahren gesucht, das erlaubt, die Teile des Fluoreszenzmusters eines Papierchromatogramms unmittelbar zu fluorometrieren.

Nachdem früher[2]) ein von KORTÜM zu anderen Zwecken konstruiertes Gerät[3]) verwendet wurde, haben wir nach einem naheliegenden Prinzip, das auch anderwärts schon benützt wurde[4]), einen Apparat entwickelt, den die Firma *Carl Zeiss*-Oberkochen für uns gebaut hat. Herrn Dr. H. J. HÖFERT danke ich besonders für seine bereitwillige Mitwirkung.

Unser Fluorometer erlaubt, einen Chromatogrammstreifen, der von UV-Licht 360 mμ durchstrahlt wird (Filter BG 23; 4 mm und UG 2; 4 mm) vor einer Photozelle (Sperrfilter G 10; 1 mm zur Absorption des UV-Lichts) abschnittweise (Blendenspaltweiten 1 mm, 2 mm oder 4 mm, Spalthöhe

20 mm) vorbeizubewegen oder ausgeschnittene Flecken vor einer kreisförmigen Blendenöffnung (20 mm ⌀) einzustellen. Die Photozelle ist mit einem Spiegelgalvanometer mit *Zeiss*-Ablesegerät[5]) verbunden. Die Einrichtung des Fluorometers geht aus Fig. 1 und 2 hervor. Durch einen Deckel ist der Kasten lichtdicht abgeschlossen, so daß im unverdunkelten Raum gemessen werden kann.

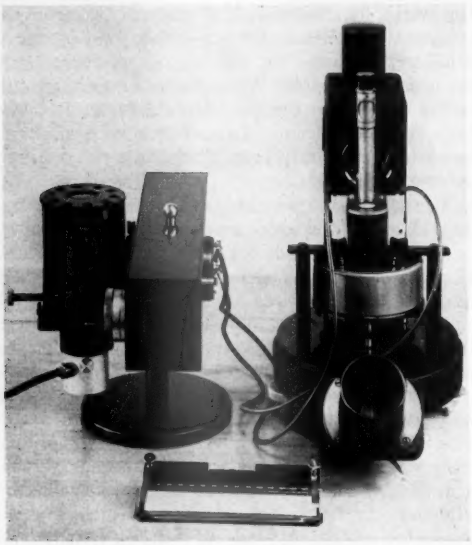


Fig. 1. Fluorometer geschlossen, verbunden mit dem Spiegelgalvanometer mit *Zeiss*-Ablesegerät; vorn der Führungswagen für die Chromatogramme.

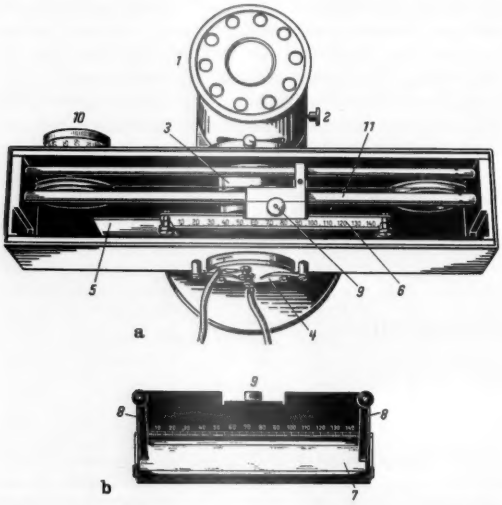


Fig. 2a u. b. a Fluorometer offen, etwas schräg von vorn oben gesehen; b Führungswagen. *1* Gehäuse der UV-Lampe; *2* Justierschraube der Lampe (eine zweite auf der Rückseite des Lampengehäuses, s. Fig. 1); *3* Kondensor mit UV-Filtern; *4* Photozelle (davor Sperrfilter); *5* Schieber zum Einstellen des 1 mm-, 2 mm-, 4 mm-Spalts oder des Kreisfensters (wird von unten verschoben); *6* Führungswagen mit Millimetermaßstab; *7* Glasplatten, zwischen denen der Chromatogrammstreifen oder der Ausschnitt festgelegt wird (auf der hinteren Platte unten eine Glasleiste als Auflage für den Papierstreifen); *8* Halteklemmen für die Glasplatten; *9* Griff des Wagens; *10* Transportrolle mit Millimeterteilung, die dem Maßstab des Wagens entspricht (wird millimeterweise gerastet); *11* Laufstange des Wagens.

Die Gesamtfluoreszenz eines Stücks des Chromatogramms erhält man durch die Addition der Galvanometerausschläge für die Fluoreszenzintensitäten der einzelnen Blendenausschnitte. Mit der Zunahme der Substanzmenge wird der Fleck größer und leuchtet intensiver. Eichkurven mit reinen Stoffen zeigen die Abhängigkeit der Galvanometerwerte von der Stoffmenge. Die spektrale Durchlässigkeitskurve des Sperrfilters (von

Fig. 3. Chromatogramme von je einem am Startpunkt ausgepreßten Kopf von der Wildform, *a* (*rotäugig*), und *bch* (*biochemica*)[2]),[6]). Der oberste Fleck ist durch Exposition stark verblaßt; er besteht aus einer sehr photolabilen Substanz.

425 mμ ab ansteigend, bei 500 mμ noch nicht die volle Höhe erreichend) und die spektrale Empfindlichkeitskurve der Photozelle (Maximum bei ungefähr 550 mμ) bringen es mit sich, daß nur aus den Meßwerten gleichfarbig fluoreszierender Flecken auf relative Stoffmengen geschlossen werden kann. Von bekannten Stoffen lassen sich absolute Werte gewinnen.

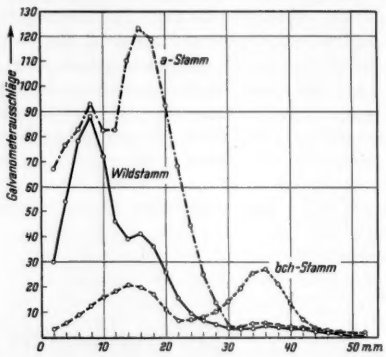


Fig. 4. Kurven der mittleren Galvanometerwerte der 2 mm-Abschnitte von je fünf Chromatogrammen von Köpfen der Rassen der Fig. 3.

Fig. 3 zeigt Photographien von Papierchromatogrammen der Fluoreszenzmuster der Augenstoffe der Wildform und zweier Mutationsrassen von *Ephestia kühniella*; Fig. 4 gibt die Kurven der mittleren Galvanometermeßwerte von je fünf Köpfen derselben Genotypen wieder.

Max-Planck-Institut für Biologie, Tübingen.

Eingegangen am 29. Juli 1955.

[1]) HADORN, H., u. H. K. MITCHELL: Proc. Nat. Acad. Sci. **37**, 650 (1951).
[2]) HADORN, H., u. A. KÜHN: Z. Naturforsch. **8b**, 582 (1953).
[3]) KORTÜM, G.: Chem. Techn. **15**, 167 (1942).
[4]) Zum Beispiel von K. SEMM u. R. FRIED: Naturwiss. **30**, 326 (1952).
[5]) HÖFERT, H. J.: Zeiss-Werkzeitschrift **3**, 13 (1955).
[6]) KÜHN, A., u. B. BERG: Z. Vererbungslehre **86** (1955).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich.

Untersuchung der charakteristischen Energieverluste mit Hilfe der Gegenfeldmethode.

Im Zusammenhang mit Elektroneninterferenzversuchen haben wir uns damit beschäftigt, die elektrische Gegenfeldmethode (nach LENARD) zu entwickeln, um die Eigenschaften der Elektronen nach Durchtritt durch dünne Schichten zu untersuchen. Von besonderem Interesse ist die Beobachtung der charakteristischen Energieverluste nach RUTHEMANN[1]). Hierbei interessiert man sich 1. für die Abhängigkeit der charakteristischen Energieverluste vom Material, vom Streuwinkel ϑ, von der Primärenergie E_0 der Elektronen und von der Schichtdicke d; 2. für die Zahl N der in die Raumwinkeleinheit gestreuten Elektronen als Funktion von ϑ, E_0, d und dem Energieverlust. Die bisherigen Untersuchungen ergaben, daß der charakteristische Energieverlust von ϑ und E_0 unabhängig ist[1]),[3]), daß hingegen, wie z. B. beim Aluminium, Vielfache des charakteristischen Energieverlustes mit zunehmender Schichtdicke auftreten[1]),[2]). Die Winkelverteilung $N(\vartheta, \Delta E)$ wurde für verschiedene Materialien im Winkelbereich von $5 \cdot 10^{-3}$ bis $3 \cdot 10^{-2}$ gemessen[4]).

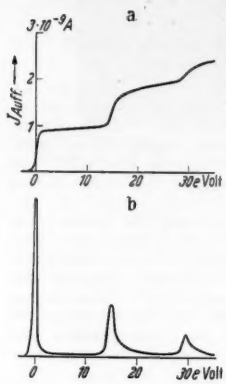


Fig. 1.

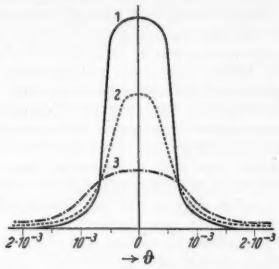


Fig. 2.

Fig. 1a u. b. a Integriertes Energiespektrum der Elektronen (35 keV) nach Durchlaufen einer dünnen Al-Schicht. Bei 15,0 eV zeigt sich der erste charakteristische Energieverlust. Der zweite beim etwa doppelten Wert von 29,4 eV ist ebenfalls sichtbar. b Differentiiertes Energiespektrum.

Fig. 2. Winkelverteilung der Stromdichte der unverzögerten Elektronen $\left(\int_{E_0+2\,\mathrm{eV}}^{E_0-2\,\mathrm{eV}} N(\vartheta, \Delta E, E_0)\, dE\right)$ (Kurve 1) und des ersten Energieverlustes $\int_{E_0-10\,\mathrm{eV}}^{E_0-20\,\mathrm{eV}} N(\vartheta, \Delta E, E_0)\, dE$ für $E_0 = 30$ keV (Kurve 3) und $E_0 = 45$ keV (Kurve 2). $\Delta E = E_0 - E$. Zur Normierung wurden die Integrale über den Winkel (bis $\bar{\vartheta} = 5 \cdot 10^{-3}$) gleich 1 gesetzt.

Das Ziel dieser Untersuchung, mit der wir uns schon seit längerer Zeit beschäftigen, war es nun, nach Entwicklung der Gegenfeldmethode unter anderem $N(\vartheta, E_0)$ zu messen. In dieser Anordnung läuft der Elektronenstrahl mit der Energie E_0 nach Durchlaufen der Schicht und nach Durchtritt durch eine Kreisblende in einen Auffänger ein. Der Auffänger hat das hohe negative Potential der Kathode. Vermindert man sein Potential um kleine Beträge ΔE, so treten alle die Elektronen in den Auffänger ein, deren Energie zwischen E_0 und $E = E_0 - \Delta E$ liegt. Man mißt also hier die integrale Energieverteilung.

Um unsere Messungen an die Ergebnisse früherer Beobachter [s. [1]) bis [5])] anzuschließen, haben wir zunächst bei festem Streuwinkel ϑ durch Variation der Gegenspannung die integrierten Energiespektren verschiedener Elemente aufgenommen. Als Beispiel möge das viel untersuchte Al-Spektrum dienen (Fig. 1). In der oberen Hälfte der Figur ist die durch Registrierung gewonnene Meßkurve, in der unteren Hälfte das durch graphische Differentiation gewonnene Energiespektrum aufgezeichnet. Die Übereinstimmung mit früheren Beobachtungen ist befriedigend. — Wir haben sodann durch Variation der Größe der Kreisblende, d. h. durch Messung von $\int_0^{\bar{\vartheta}} N(\vartheta)\, \vartheta\, d\vartheta$ die Winkelverteilung $N(\bar{\vartheta})$ der Elektronen gemessen, die einen Energieverlust zwischen zwei vorgegebenen Energiegrenzen ΔE_1 und ΔE_2 haben. $\Delta E_1, \Delta E_2$ wurden zu 10 bzw. 20 eV gewählt, d. h., es wurde praktisch nur (s. Spektrum) die Verteilung des ersten Verlustes von 15,0 eV gemessen. In der Fig. 2 ist die aus der integralen Messung durch Differentiation nach $\bar{\vartheta}$ und Division durch $\bar{\vartheta}$ erhaltene Winkelverteilung bei $E_0 = 30$ keV und 45 keV gezeichnet. Man entnimmt den Kurven, daß bei gleicher Winkelbreite der eingeschossenen Verteilung die unelastische Streuung bei 30 kV wesentlich breiter ist als bei 45 kV. Die Winkelverteilung der unverzögerten Elektronen ist praktisch gleich der der eingeschossenen Elektronen.

Weitere Untersuchungen sollten Aufschluß geben über die Abhängigkeit des Anteiles der verzögerten Elektronen an der Intensität der Elektronen, deren Energie zwischen $E_0 + 2$ eV und $E_0 - 20$ eV liegt, als Funktion der Primärenergie E_0. Die Schicht war so dünn, daß die Intensität des

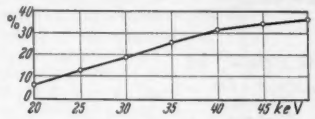


Fig. 3. Relative Stromdichte des ersten charakteristischen Energieverlustes als Funktion der Primärenergie der Elektronen:

$$\frac{1}{N_0} \int_0^{\bar{\vartheta}} \int_{E_0-10\,\mathrm{eV}}^{E_0-20\,\mathrm{eV}} N(\vartheta, \Delta E, E_0)\, \vartheta\, d\vartheta\, dE,$$

N_0 wurde durch Integration zwischen den Grenzen $E_0 + 2$ eV und $E_0 - 20$ eV erhalten; $\Delta E = E_0 - E$.

zweiten charakteristischen Energieverlustes zu vernachlässigen war. Wir haben die Beschleunigungsspannung zwischen 20 und 50 kV variiert und innerhalb eines Kegels der Öffnung $\bar{\vartheta} = 5 \cdot 10^{-3}$

$$\frac{1}{N_0} \int_0^{\bar{\vartheta}} \int_{E_0-10\,\mathrm{eV}}^{E_0-20\,\mathrm{eV}} N(\vartheta, \Delta E, E_0)\, \vartheta\, d\vartheta\, dE$$

gemessen, wobei wieder $\Delta E_1, \Delta E_2 = 10$ bzw. 20 eV gewählt wurden. Dieser Wert ist in Fig. 3 über E_0 aufgetragen. Man erkennt eine Zunahme der Intensität des ersten charakteristischen Verlustes von 6% bei 20 kV auf 36% bei 50 kV.

Einzelheiten dieser Messungen sowie weitere Ergebnisse werden in Kürze an anderer Stelle ausführlich mitgeteilt werden.

Institut für Angewandte Physik der Universität, Hamburg.

G. HABERSTROH und H. RAETHER.

Eingegangen am 28. Juli 1955.

[1]) RUTHEMANN, G.: Ann. Phys. (6) **2**, 113 (1948).
[2]) LANG, W.: Optik **3**, 233 (1948).
[3]) MÖLLENSTEDT, G.: Optik **5**, 499 (1949).
[4]) LEONHARD, F.: Z. Naturforsch. **9a**, 727, 1019 (1954).
[5]) MARTON, L., u. B. LEDER: Physic. Rev. (94) **1**, 203 (1954).

Stochastische Darstellung der Quantenmechanik.

Die Schwierigkeiten, die dem Versuch entgegenstehen, die Quantenmechanik als eine neuartige statistische Mechanik für Teilchen zu betrachten, zeigen sich in dem v. NEUMANNschen Satz, nach dem es unmöglich ist, die Gleichungen der Quantenmechanik in äquivalente stochastische Gleichungen umzuwandeln. Für die zur Entscheidung stehende Frage ist dieser Satz jedoch nicht genügend umfassend. Denn es gibt keine „in Strenge" gültigen experimentellen Aussagen. Darum lautet die physikalisch eigentlich interessierende Frage: Gibt es stochastische Gleichungen, die innerhalb der Grenzen der Erfahrung von den quantenmechanischen nicht zu unterscheiden sind? Diese Frage läßt im Gegensatz zu der v. NEUMANNschen eine positive Antwort zu.

Setzt man an die Stelle der v. NEUMANNschen Gleichung

$$i\hbar\dot{P} = HP - PH, \tag{1}$$

in der H der HAMILTON-Operator und P die statistische Matrix ist, die veränderte Gleichung

$$\dot{P} = -\frac{1}{\tau}\left(P - e^{-\frac{i\tau}{\hbar}H}\, P e^{+\frac{i\tau}{\hbar}H}\right), \tag{2}$$

die im Limes $\tau \to 0$ in Gl. (1) übergeht, so hat man unter Umständen eine Gleichung vor sich, die einer stochastischen äquivalent ist. Ebenso verhält es sich mit der Gleichung[1])

$$\dot{P} = -\int_0^\infty \left(P - e^{-\frac{i\tau}{\hbar}H}\, P e^{+\frac{i\tau}{\hbar}H}\right) \frac{g(\tau)}{\tau}\, d\tau, \tag{3}$$

wenn

$$g(0) = 0, \qquad g(\tau) \geq 0, \qquad \int_0^\infty g(\tau)\, d\tau = 1 \tag{4}$$

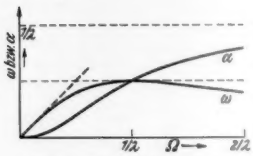


Fig. 1. Stochastische Frequenz ω und Abklingkonstanten α als Funktionen der quantenmechanischen Frequenzen Ω.

ist. Den etwas mühsamen Beweis bringen wir an anderer Stelle[2]).

Wenn von H die Eigenvektoren Φ_k und die Eigenwerte $\hbar\,\Omega_k$ bekannt sind, kann man die Eigenlösungen von Gl. (3) und ihre Eigenwerte ebenfalls angeben. Sie lauten (unter Verwendung des Symbols für dyadische Produkte):

$$P = (\Phi_k; \Phi_l^+)\, e^{-(\alpha_{kl} + i\omega_{kl})t}. \tag{5}$$

Darin ist, wenn wir $\Omega_k - \Omega_l = \Omega$ setzen:

$$\alpha_{kl} + i\,\omega_{kl} = \int_0^\infty \left(1 - e^{-i\tau\Omega}\right) \frac{g(\tau)}{\tau}\, d\tau.$$

Mit der speziellen Funktion

$$g(\tau) = \frac{\tau}{\lambda^2}\, e^{-\frac{\tau}{\lambda}} \tag{6}$$

erhalten wir

$$\alpha_{kl} = \frac{\lambda\,\Omega^2}{1 + \lambda^2\Omega^2}, \qquad \omega_{kl} = \frac{\Omega}{1 + \lambda^2\Omega^2}. \tag{7}$$

Solange $\lambda\Omega \ll 1$ ist, haben wir näherungsweise die quantenmechanischen Frequenzen $\omega_{kl} \approx \Omega$, und es ist $\alpha_{kl} \approx 0$. Doch ist bei endlichem λ für hinreichend große Ω stets $\frac{\alpha_{kl}}{\omega_{kl}} = \lambda\,\Omega \gg 1$. Die Konvergenz gegen die Gleichungen der Quantenmechanik ist also nicht gleichmäßig gut. Darum verlieren die stochastischen Gln. (3) durch den Grenzübergang ihren Charakter, mit dem notwendig verbunden ist, daß es neben den veränderten Frequenzen ω_{kl} noch die Abklingkonstanten α_{kl} gibt.

Fig. 1 zeigt ω und α als Funktion von Ω. Innerhalb der Zeit T findet kein merkliches Abklingen statt, wenn

$$\lambda \ll \frac{T}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4}{T^2\Omega^2}}\right) \approx \frac{1}{T\Omega^2}$$

ist. Das ist selbst für die extremen Werte $T = 10^{18}$ sec und $\hbar\Omega = 10^{18}\,mc^2$ erfüllt, wenn wir

$$\lambda = \frac{1}{N^2}\frac{\hbar}{mc^2}, \qquad N = 10^{40}, \qquad m = \text{Elektronenmasse} \tag{8}$$

setzen.

Stochastische Gleichungen widersprechen, genau genommen, der Unschärferelation. Doch haben anti-HEISENBERGsche Verteilungen Bestandteile, die innerhalb unmerklich kurzer Zeit abklingen. Kritisch sind nur Bestandteile mit mittleren Relaxationszeiten. Nach Gl. (7) gehören unter den in (8) angenommenen Verhältnissen zu dem Zeitintervall von 10^{-15} sec bis 10^{+15} sec Energien zwischen $10^{37}\,mc^2$ und $10^{22}\,mc^2$, so daß bereits aus energetischen Gründen anti-HEISENBERGsche Verteilungen nicht herzustellen sind.

Natürlich beanspruchen wir nicht, mit dem Ansatz von λ in Gl. (8) den richtigen Wert getroffen zu haben. Wir wollten damit nur zeigen: Man kann λ so klein wählen, daß sich durch den Übergang zu den stochastischen Gleichungen praktisch nichts ändert. Darum erscheinen Konsequenzen aus dem nichtstochastischen Charakter von Gl. (1) äußerst fragwürdig. Sie sind jedenfalls nicht experimentell begründet.

Vielleicht ist der Wert von λ in Wirklichkeit viel größer als in Gl. (8). Jedenfalls scheiden viele Erfahrungen der Quantenmechanik zur Bestimmung oder Abschätzung von λ aus. Denn die stationären Zustände aus Gl. (5) mit $k = l$ sind zugleich strenge Lösungen der quantenmechanischen Gl. (1) und der stochastischen Gl. (3). In beiden Fällen ist der Zeitfaktor gleich 1. Das bedeutet unter anderem, daß der YOUNGsche Interferenzversuch bei beliebigem λ stochastisch genau so aussehen muß wie nach Gl. (1). Die verbreitete Auffassung, daß Interferenzerscheinungen stochastisch nicht zu verstehen wären, ist darum sicher nicht haltbar.

Institut für Theoretische Physik der Universität, München.

Eingegangen am 26. Juli 1955. FRITZ BOPP.

[1]) Ein Beispiel liefert der Ansatz: $\varrho(\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n\, \delta(\tau - n\,\tau_0)$, $c_n = 0$, $\sum_{n=1}^{\infty} c_n = 1$, $c_{n+1} \ll c_n$, $e^{i\tau_0 H/\hbar} = T$, $\langle \mu | T | \nu \rangle = \delta(\mu - \nu + 1)$.

[2]) BOPP, F.: Z. Naturforsch. (im Druck).

Untersuchungen über die Wanderung von Markierungen bei der Diffusion von Gold und Silber.

In einem Diffusionssystem vom Substitutionstypus bewegen sich nach einer früheren Arbeit[1]) nicht nur die Trennfläche, sondern alle vom Diffusionsstrom erfaßten Gitterebenen, wenn die Partner verschieden schnell diffundieren. Unter der Annahme, daß in der wandernden Trennebene die entgegengesetzten Diffusionsströme ihren maximalen Betrag erreichen und daß im gesamten Diffusionsbereich für die partiellen Diffusionskoeffizienten $D_A > D_B$ gilt, ließ sich für irgendeinen bestimmten Zeitpunkt ein Verlauf der Leerstellenkonzentration z in Abhängigkeit von der Ortskoordinate x ableiten, wie ihn Fig. 1 schematisch wiedergibt[2]), wobei man sich die Leerstellen einmal zeitlich fixiert vorzustellen hat. Entsprechend der Größe und der Richtung des Gefälles $\delta z/\delta x$ war nur innerhalb der Extremstellen eine Wanderung von Gitterebenen im gleichen Sinne wie die der Trennebene zu fordern, während außerhalb derselben, auf der Seite der schnelleren und auf der Seite der langsameren Komponente, eine Verschiebung in entgegengesetzter Richtung auftreten sollte.

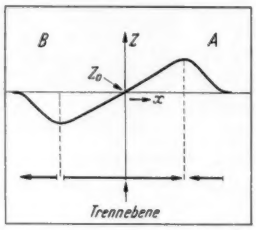


Fig. 1. Leerstellenkonzentration z und Richtung der Markierungswanderung, durch Pfeile angedeutet (schematisch), nach HEUMANN u. KOTTMANN[2]).

Über das Ergebnis der Versuche, die bei der gegenseitigen Diffusion von reinem Silber gegen reines Gold ($D_{Ag} > D_{Au}$) zur Prüfung dieser Voraussagen angestellt wurden, soll kurz berichtet werden. Um die Wanderung über den gesamten Diffusionsbereich messen zu können, wurden auf der Stirnseite der Silber- und Goldronden zahlreiche Folien von 0,03 bis 0,05 mm Dicke aus dem gleichen Material unter Vakuum aufgeschweißt. An einem seitlichen Anschliff in der Längsrichtung konnten die einzelnen Schweißebenen sichtbar gemacht werden. Diese an den feinen Linien (s. Fig. 2) erkennbaren Ebenen dienten als Markierungen und ließen sich mit einer reproduzierbaren Genauigkeit von 0,5 bis 1 μ vermessen. Eine vor der Diffusionsglühung durchgeführte Temperung ergab ein grobkörniges Gefüge (Fig. 2). Bei allen Versuchsproben, die nach verschiedenen Diffusionszeiten untersucht wurden (Diffusionstemperatur 900° C), wurden übereinstimmend folgende Gesetzmäßigkeiten festgestellt.

Die Wanderung Δx der Schweißebene Au/Ag befolgt bei kurzen Versuchszeiten das parabolische Wachstumsgesetz $(\Delta x \sim \sqrt{t})$. Mit fortschreitender Diffusion sinkt die Wanderungsgeschwindigkeit infolge der Lochbildung ab. — Die gleiche Abhängigkeit zeigt die Wanderung der Rand- und Häufungszone der Löcher im Silber[1]) sowie die des Wulstrandes und des Wulstscheitels im Gold. Daneben erfährt die Probe eine Verlängerung, die zwischen 70 und 100% der

Schweißflächenwanderung liegt. Der Ursprung der Ausdehnung liegt im Bereich zwischen Lochzone und Schweißebene.

Die geforderte Umkehr der Wanderungsrichtung der Markierungen konnte in allen Fällen sowohl im Gold als auch im Silber beobachtet werden. Die Größenordnung der Verschiebungen lag bei 1 bis 10 μ, war aber im Gold infolge des flacheren Konzentrationsverlaufes stets geringer als im Silber. Sie trat in einem Bereich von 0,5 bis 5 At.-% des eindiffundierten Metalles auf. Die obere Kurve in Fig. 3 zeigt die an einer Probe gegen einen Fixpunkt in der Goldronde gemessene Verschiebung Δ der Markierungen nach 2,5 Std in Abhängigkeit von der Ortskoordinate x gegenüber ihrer Lage zur Zeit

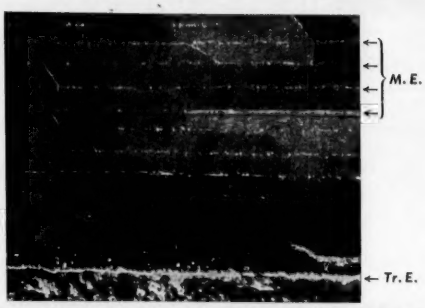


Fig. 2. Elektrolytisch geätzte Diffusionsprobe (Goldseite) nach 6 Std Diffusionszeit. *M. E.* Markierungsebenen (Abstand ~ 0,05 mm). *Tr. E.* Au/Ag-Trennebene (Au oben).

$t = 0$. Infolge der Verlängerung der Probe liegt das Maximum der Verschiebung Δ nicht, wie zu erwarten, in der Trennebene selbst, sondern zwischen ihr und der Lochzone. Eliminiert man die durch die Lochbildung verursachte Längenzunahme,

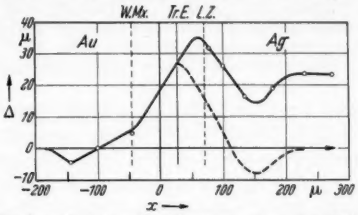


Fig. 3. Wanderung Δ der Markierungen nach 2,5 Std gegenüber ihrer Lage zur Zeit $t = 0$. *W. Mx.* Wulstmaximum, *Tr. E.* Trennebene, *L. Z.* Lochzone.

so ergibt sich die untere gestrichelte Kurve in Fig. 3 in Übereinstimmung mit der Theorie. — Aus der Tatsache der Richtungsumkehr folgt, daß die von DARKEN[3]) aufgestellte Gleichung für die Geschwindigkeit v der Markierungen

$$v = (D_A - D_B) \cdot \partial N/\partial x \quad (\partial N/\partial x = \text{Konzentrationsgefälle})$$

nicht für die gesamte Diffusionszone gültig ist.

Institut für physikalsche Chemie der Universität, Münster.
W. SEITH († am 24. 8. 55), TH. HEUMANN und G. WALTER.

Eingegangen am 4. August 1955.

[1]) SEITH, W., u. A. KOTTMANN: Angew. Chem. **64**, 315 (1952). — Naturwiss. **39**, 40 (1952).

[2]) HEUMANN, TH., u. A. KOTTMANN: Z. Metallkunde **44**, 139 (1953).

[3]) DARKEN, L. S.: Trans. Amer. Inst. Min. Metallurg. Engr. **175**, 194 (1948).

Die physikalischen Grundlagen der Tränkungsvorgänge an porösen Systemen.

Die Erfahrung zeigt, daß eine Flüssigkeit (z. B. Milch, Wasser), wenn sie mit einem porösen System (z. B. Brot, Erze, Böden feuerfester Erzeugnisse, Mauerwerk) in Berührung kommt, von diesem mehr oder wenig stark aufgesaugt wird. Solche *Tränkungsvorgänge* spielen auch in der Technik eine große Rolle. In der Pulvermetallurgie werden z. B. Eisenpreßlinge mit Kupfer getränkt, wodurch ein Werkzeug entsteht, welches auf dem üblichen Wege des Legierungsverfahrens nicht herzustellen ist. Der Eisen- und Gesteinshüttenmann sowie der Glastechniker bemühen sich mit allen Mitteln, zu verhindern, daß bei den metallurgischen Prozessen die Schlacke und bei der Glasherstellung die Glasschmelze in die Auskleidung der Öfen und Wannen eindringt und diese auflöst. Auch der Feinkeramiker hat beim Aufbringen der Glasur auf seine Erzeugnisse mit den gleichen Problemen zu rechnen.

Qualitative Versuche und Überlegungen zeigen, daß der Vorgang der Tränkung durch zahlreiche physikalische Faktoren geregelt wird. Bei dem festen porösen System sind die Porosität, Porengröße, Porengrößenverteilung und Porenform und bei der flüssigen Phase die Oberflächenenergie und Viskosität die wichtigsten Einflußgrößen. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Grenzflächenenergie zwischen beiden Phasen. Ausgehend vom idealen Fall einer einzelnen Kapillare, wurde auf Grund des Kapillar- und HAGEN-POISEUILLEschen Gesetzes eine *Gesetzmäßigkeit* abgeleitet, in welcher alle angeführten Faktoren in ihrem funktionellen Zusammenhang erscheinen. Sie lautet:

$$V_t = A \cdot \sqrt{\tfrac{1}{2}\varepsilon^2 r} \cdot \sqrt{\sigma \cos\varphi/\eta} \cdot \sqrt{t}\,.$$

Es bedeuten: V_t = die in der Zeit t (sec) aufgesaugte Menge der Flüssigkeit in Kubikzentimetern, A = die Fläche in Quadratzentimetern, durch die in senkrechter Richtung die Tränkung erfolgt, ε = die offene Porosität, r = die jeweils wirksame Porengröße (Zentimeter), σ = die Oberflächenenergie (erg/cm²) der Flüssigkeit, η = die Viskosität (Poise), φ = der Randwinkel flüssig/fest.

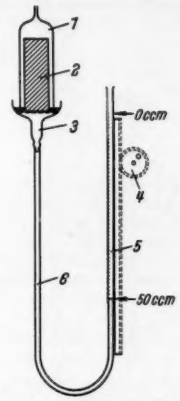


Fig. 1. Versuchsanordnung: *1* Glaszylinder, *2* Prüfkörper, *3* BÜCHNER-Trichter, *4* Zahntrieb, *5* Bürette 50 cm³, *6* Schlauch.

Bei der Auftragung der spez. Tränkung (V_t/A) gegen $\sqrt{t}$ muß also eine Gerade resultieren, deren Steigung den *Tränkungskoeffizienten*

$$f = \sqrt{\tfrac{1}{2}\varepsilon^2 r} \cdot \sqrt{\sigma \cos\varphi/\eta}$$

ergibt. Der Tränkungskoeffizient besteht aus zwei Komponenten. Während $\frac{1}{2}\varepsilon^2 r$ den *Porositätsfaktor* darstellt, wird $\sigma\cos\varphi/\eta$ [cm sec⁻¹] als die *Beweglichkeit* der flüssigen Phase bezeichnet. Sie gibt diejenige Geschwindigkeit an, mit welcher das gegebene System fest/flüssig den Zustand des Minimums an freier Energie erreicht.

Die Gültigkeit der abgeleiteten Gesetzmäßigkeit wurde bisher an zwei Fällen experimentell überprüft und bestätigt. — Im ersten Falle wurden Schamottekörper verschiedener, aber bekannter Porosität und mit einer Porengrößenverteilung, die auf Grund der CANTORschen Gleichung bestimmt wurde, nach einer einfachen Methode (Fig. 1) getränkt. Als Tränkungsflüssigkeit wurden einmal Wasser/Glyzerin-Mischungen (σ praktisch konstant, η variiert von 15 bis 0,01 Poise), das andere Mal Wasser/Butylalkohol-Mischungen (η praktisch konstant, σ variiert von 72,6 bis 35,4 erg/cm²) verwendet. Bei diesen Versuchen wurde eine volle Benetzbarkeit ($\varphi = 0°$) angenommen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse bestätigt die lineare Abhängigkeit der Größe V_t von $\sqrt{t}$. Die Porengrößenverteilung, die sich für jeden Körper aus den Tränkungskoeffizienten ableiten läßt, stimmt mit den ermittelten Ergebnissen unter Zugrundelegung der CANTORschen Gleichung größenordnungsmäßig gut überein.

Im zweiten Falle wurden eine Reihe von *Verschlackungsversuchen* an handelsüblichen Magnesitsteinen unter Anlehnung an das Verfahren nach DIN 1069 durchgeführt, wobei eine basische Hochofenschlacke (Basizitätsfaktor 1,2) verwendet wurde. Ihre Viskosität wurde experimentell bestimmt und die Oberflächenenergie aus der Zusammensetzung nach den Angaben von A. DIETZEL berechnet. Da die Grenzflächenenergie in diesen Fällen noch nicht exakt bekannt ist, φ jedoch auf Grund von experimentellen Beobachtungen nicht weit von 0° entfernt sein kann, wurde $\cos\varphi$ auch in diesem Falle gleich 1 gesetzt. Aus der Größe der Tränkungszone (die Lösung war gering) wurde V_t berechnet. Eine Auswertung dieser Versuche zeigt, daß die abgeleitete Gesetzmäßigkeit auch in diesem Falle zutrifft. Ein Vergleich der berechneten

und der experimentell bestimmten Porengrößenverteilung zeigt jedoch, daß die Zunahme der Porengröße infolge der erhöhten Temperatur (1600°) berücksichtigt werden muß. An der Vervollständigung der Verschlackungsversuche wird weiter gearbeitet. Die Ergebnisse werden an anderer Stelle ausführlich veröffentlicht.

Institut für Gesteinshüttenkunde der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule, Aachen. H. E. SCHWIETE und L. ŽAGAR.

Eingegangen am 5. August 1955.

Untersuchungen über die Bindung des Wassers in kristallisierten Salzhydraten.

In einer früheren Arbeit[1]) konnten wir durch Messung des Ultrarotabsorptionsspektrums kristallisierter Hydroxyde zeigen, daß beim Auftreten einer Wasserstoffbrückenbindung die Verschiebung der OH-Valenzschwingung nur vom O—O-Abstand abhängig ist. Nimmt dieser Abstand ab, verschiebt sich die OH-Absorption nach längeren Wellen.

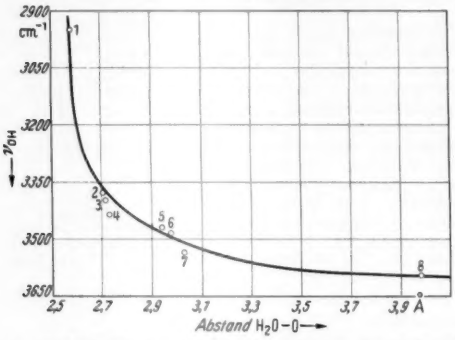


Fig. 1. Abhängigkeit des H_2O—O-Abstandes von der Wellenlänge der OH-Absorption. *1* $BeSO_4 \cdot 4\,H_2O$; *2* $Na_2CO_3 \cdot H_2O$; *3* $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$; *4* $Zn(BrO_3)_2 \cdot 6\,H_2O$; *5* $LiClO_4 \cdot 3\,H_2O$; *6* $Li_2SO_4 \cdot H_2O$; *7* $Mg(ClO_4)_2 \cdot 2\,H_2O$; *8* $CaSO_4 \cdot {}^1/_2\,H_2O$.

Unsere Messungen wurden auf zahlreiche kristallisierte Salzhydrate ausgedehnt, deren Struktur durch Röntgenanalyse bekannt ist[2]). In Fig. 1 sind die erhaltenen Absorptionen der OH-Valenzschwingung der Salzhydrate $BeSO_4 \cdot 4\,H_2O$, $Na_2CO_3 \cdot H_2O$, $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, $Zn(BrO_3)_2 \cdot 6\,H_2O$, $LiClO_4 \cdot 3\,H_2O$, $Li_2SO_4 \cdot H_2O$, $Mg(ClO_4)_2 \cdot 6\,H_2O$, $CaSO_4 \cdot {}^1/_2\,H_2O$ gegen die röntgenographisch ermittelten H_2O—O-Abstände aufgetragen. Wie bei den Hydroxyden resultiert auch hier eine kontinuierlich verlaufende Kurve, die zeigt, daß die Verschiebung der Absorption der OH-Valenzschwingung eindeutig vom H_2O—O-Abstand abhängig ist. Die untere Grenze für den H_2O—O-Abstand in diesen Salzen von Sauerstoffsäuren ist nach Fig. 1 2,5 Å. In die Kurve passen auch Salze, in deren Elementarzelle mehrere, kristallographisch verschiedene Wassermoleküle auftreten. Bei einigen Verbindungen wurde dann, wie z. B. bei $KAl(SO_4)_2 \cdot 12\,H_2O$, Aufspaltung der OH-Absorption beobachtet; bei anderen Hydraten trat eine breite Bande auf[3]). Da Pulver vermessen wurden, wirken bei den Absorptionen alle möglichen Orientierungen mit, wodurch das Auftreten breiter Banden verständlich wird. Vielleicht ist auch durch eine verbesserte Meßtechnik eine Auflösung derBanden möglich. Zur Prüfung der Ergebnisse wurden Absorptionen der Hydrate von Metallhalogeniden gemessen. Aus der Kurve in Fig. 1 lassen sich für die Salze die zugehörigen fiktiven „H_2O—O-Abstände" entnehmen. Zieht man von diesen „Abständen" den Sauerstoffradius von 1,32 Å ab und addiert den zugehörigen entsprechenden Halogenradius[4]), dann erhält man H_2O-Halogenabstände, die man mit den röntgenographisch ermittelten vergleichen kann (Tabelle 1).

Berücksichtigt man, daß H_2O-Parameter meist nicht mit großer Genauigkeit bekannt sind und daß nur Ionenradien verwendet wurden, was nicht immer stimmen mag, so ist die Übereinstimmung der Abstände befriedigend. Durch weitere Messungen ist es sicher möglich, die Kurve in Fig. 1 noch besser festzulegen. *Ohne Kenntnis der Struktur, nur durch eine Messung der OH-Absorption im Ultrarot kann man also bei vielen Hydraten Hinweise auf H_2O-Anion-Abstände erhalten. Dies kann unseres Erachtens eine Strukturbestimmung wesentlich erleichtern.*

Tabelle 1. *H_2O-Halogenabstände von Metallhalogenidhydraten.*

Hydrat	ν_{OH} cm⁻¹	„H_2O—O-Abstand" aus Fig. 1 in Å	H_2O-Halogenabstand in Å	
			ermittelt aus „H_2O—O-Abstand"	aus röntgenographischen Strukturdaten
$[Ni(H_2O)_6]SnCl_6$	3322	2,66	3,15	3,26
$MgCl_2 \cdot 6\,H_2O$	3268	2,62	3,11	3,25
$[Cr(H_2O)_6]Cl_3$	2941	2,57	3,06	3,06
$K_2[TlCl_6]\,2\,H_2O$	3484	2,94	3,53	3,5 MW*)
$CuCl_2 \cdot 2\,H_2O$	3356	2,68	3,17	3,12
$K_2[HgCl_4]\,H_2O$	3390	2,73	3,22	3,26
$CoCl_2 \cdot 2\,H_2O$	3401	2,74	3,23	3,22
$KF \cdot 2\,H_2O$	3378	2,71	3,21	2,70 MW*)
$MgBr_2 \cdot 6\,H_2O$		2,65	3,29	3,33 MW*)

*) MW = Mittelwert.

Durch ein weiteres Beispiel soll dieser Befund noch erhärtet werden. Im SCHLIPPEschen Salz $Na_3SbS_4 \cdot 9\,H_2O$[5]) erhielten wir eine OH-Absorption bei 3390 cm⁻¹, die einem fiktiven „H_2O—O-Abstand" von 2,73 Å entspricht. Drei Molekeln H_2O dieses Salzes sind je einem *S*-Atom mit den Abständen 3,13, 3,15 und 3,18, im Mittel mit 3,15 Å benachbart. Addiert man zu den gefundenen 2,73 Å die Radiendifferenz Schwefel—Sauerstoff von 0,42 Å, so erhält man 3,15 Å, den auch röntgenographisch festgestellten mittleren Abstand von H_2O—S.

Für die Ausbildung einer Wasserstoffbrücke, der Einstellung eines bestimmten H_2O-Anionenabstandes im Gitter, muß, von sterischen Gründen abgesehen, die Protonenaffinität des Anions maßgebend sein. Vergleicht man z. B. die Spektren kristallwasserhaltiger Salze, die MILLER und WILKINS[6]) veröffentlicht haben, so fällt auf, daß das Wasser in Salzen stark dissoziierter Säuren (Perchlorate, Permanganate) nur sehr schwach verschobene OH-Absorptionen und somit nur schwache Wasserstoffbrücken zeigt. Die stärksten Wasserstoffbrücken sind bei den Hydraten von Salzen schwacher Säuren zu finden (Silikate, Carbonate u. a.). Deshalb kann die Ansicht von BERNAL[7]) nicht stimmen, wonach die Fähigkeit des Anions, Wasserstoffbrücken zu bilden, für das Auftreten von Hydraten verantwortlich sei, denn auch Perchlorate bilden Hydrate.

Der Firma Ernst Leitz, Wetzlar, und dem Fonds der Chemie danken wir für Unterstützung.

Göttingen, Anorganisch-Chemisches Institut der Universität.

OSKAR GLEMSER und ERWIN HARTERT.

Eingegangen am 25. Juli 1955.

[1]) HARTERT, E., u. O. GLEMSER: Naturwiss. **40**, 199 (1953). — GLEMSER, O., u. E. HARTERT: Z. anorg. allg. Chem. (im Druck).

[2]) Von diesen Hydraten wurden mit den im Strukturbericht bzw. in den betreffenden Originalarbeiten angegebenen Parametern die Nachbarschaftsbilder der einzelnen H_2O-Molekeln ermittelt und die Abstände der Nachbarn berechnet.

[3]) In den kristallwasserreichen Hydraten kommen häufig Wasserstoffbrücken zwischen H_2O-Molekeln untereinander vor. Da aber H_2O nicht kugelsymmetrisch ist, sind in diesen Fällen Schlüsse auf H_2O-Abstände in Richtung der H-Atome schwierig.

[4]) Die Halogenide der Tabelle 1 haben die Koordinationszahl 6.

[5]) Aus den Nachbarschaftsbildern der H_2O-Molekeln und des Schwefels muß auf eine H-Brücke zum Schwefel geschlossen werden. Die gute Übereinstimmung der obigen Rechnung deutet ebenfalls darauf hin.

[6]) MILLER, F. A., u. C. H. WILKINS: Analyt. Chem. **24**, 1253 (1952).

[7]) BERNAL, J. D.: J. Chim. physique, Physico-chim. biol. **50**, C2 (1953).

Anorganische Papierchromatographie mit Tetrahydrofuran.

Angeregt durch frühere Arbeiten[1]) über die Verteilung von Metallthiocyanaten und -thiocyanatkomplexen zwischen Tetrahydrofuran-Äthergemischen und sauren wäßrigen Lösungen, haben wir das Tetrahydrofuran als bewegliche Phase bei der papierchromatographischen Trennung anorganischer Kationen eingesetzt. Das gleiche Lösungsmittel wurde schon

Tabelle 1.

Ion	UO_2^{2+}	Cu^{2+}	Co^{2+}	VO_2^{+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}
R_f-Wert	0,976	0,911	0,777	0,555	0,506	0,274

früher[2]) zur Abtrennung des Urans von anderen Metallen benutzt, und zwar im Gemisch mit Salpetersäure. Eigene Versuche mit Tetrahydrofuran-Schwefelsäure-Mischungen verschiedener Konzentrationsverhältnisse ergaben nur mäßige Trenneffekte, dagegen konnten wir mit Tetrahydrofuran-Salzsäure-Gemischen sehr gute Trennungen erzielen. Die Fig. 1 zeigt ein Chromatogramm von UO_2^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+}, VO_2^+, Mn^{2+} und Ni^{2+}, das mit einer Mischung von 50 Vol.-Tl. Tetrahydrofuran und 15 Vol.-Tl. konzentrierter Salzsäure (d = 1,19) aufgenommen wurde. Die zugehörigen R_f-Werte sind in der Tabelle 1 enthalten. Unter den genannten Bedingungen laufen Fe^{3+}, MoO_4^{--}, Zn^{2+} und Cd^{2+} mit der Lösungsmittelfront. Die R_f-Werte hängen stark vom Wassergehalt und vom HCl-Gehalt der beweglichen Phase ab, sind aber unter konstanten Bedingungen selbst auf kurzen Laufstrecken streng reproduzierbar. Wir werden demnächst an anderer Stelle ausführlich über das Verhalten von Metallchloriden und Chlorokomplexen bei der Papierchromatographie mit Tetrahydrofuran berichten.

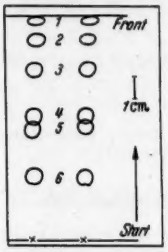


Fig. 1. Trennung von *1*: UO_2^{2+}, *2*: Cu^{2+}, *3*: Co^{2+}, *4*: VO_2^+, *5*: Mn^{2+} und *6*: Ni^{2+} mit Tetrahydrofuran (50) + konz. HCl (15) im aufsteigenden Chromatogramm. Aufgetragene Menge: je etwa 1 µg. Papier: Schleicher & Schüll 2043b.

Dortmund-Aplerbeck, Institut für Spektrochemie und Angewandte Spektroskopie.

HEINRICH HARTKAMP und HERMANN SPECKER.

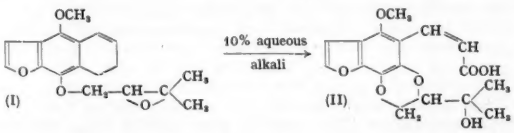
Eingegangen am 9. August 1955.

[1]) SPECKER, H., u. H. HARTKAMP: Z. analyt. Chem. **140**, 353 (1953); **145**, 260 (1955).
[2]) BURSTALL, F. H., R. P. LINDSTEAD u. R. A. WELLS: J. Chem. Soc. [London] **1950**, 516.

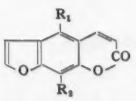
Chromatographic Resolution of Natural Coumarins.

Difficulties are often encountered in separating a mixture of two or more natural coumarins by fractional crystallisation both qualitatively and quantitatively. Chromatography technique as usually employed for the effective separation of mixtures of chemical substances has very little applications[1]) in this field. Recently RIEDEL and NEUGEBAUER[2]) have studied the resolution of a number of coumarins, furanocoumarins and chromenocoumarins by the application of paper chromatography.

The present investigators felt necessary to develop a suitable chromatographic technique for the effective resolution of natural coumarins, as they have faced difficulties in isolating these constituents in pure and homogeneous state from the extract of coumarin bearing plants. Crude plant extract (in ether, petroleum ether or benzene) is freed from basic compounds by acid washings and is chromatographed over alumina using either of these solvents as a developer for the chromatogram and also as an eluent. Essential oil, glycerides, sterols and triterpenes appear in early fractions of the eluates. Coumarins migrate out of the column when benzene or a mixture of benzene and ethylacetate (in varying proportions) is used as an eluent. This process brings about successful resolution of the coumarins and has a special advantage over the classical method of isolation of natural coumarins, i.e. saponification method developed by SPÄTH and SOCIAS[3]) in the following aspects: (1) Natural coumarins having low melting points have very little tendency to crystallise out from their mixtures in plant extract. (2) There are some coumarins which are susceptible to decomposition or isomerisation when tried to isolate by saponification following the method of SPÄTH and SOCIAS[3]). For example, the action of aqueous alkali on ferulin[4]) (I) (γ:γ-dimethyl-β:γ-epoxyallyl-ether of 8-hydroxy-5-methoxy-furanocoumarin) may be cited here. On treatment with 10% aqueous alkali ferulin (I) gives ferulinic acid (II).



Similarly byakangelicol (γ:γ-dimethyl-β:γ-epoxy-allyl-ether of 8-hydroxy-5-methoxy-furanocoumarin) gives isobyakangelicolic acid[5]). (3) High vacuum sublimation or distillation technique for qualitative or quantitative separation of coumarins in several cases brings about their decomposition or isomeric change as would be evidenced from the following examples. When bergamottin (III) (geranyl ether of 5-hydroxy-furanocoumarin) is distilled in high vacuum it suffers cleavage at the ether linkage with the formation of bergaptol (IV). On the other hand when imperatorin[6]) (V) (γ:γ-dimethyl-allyl-ether of 8-hydroxy-furanocoumarin) is heated in high vacuum, it isomerises into alloimperatorin (VI).



III: $R_1 = -O-CH_2-CH=\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}-(CH_2)_2-CH=C\begin{matrix}CH_3\\CH_3\end{matrix}$; $R_2 = H$
IV: $R_1 = OH$; $R_2 = H$
V: $R_1 = H$; $R_2 = O-CH_2-CH=C(CH_3)_2$
VI: $R_1 = CH_2-CH=C(CH_3)_2$; $R_2 = OH$

Chromatographic resolution of the following mixtures of coumarins (50 mg of each) has been studied with alumina as the adsorbent in column No. 2 (1·7 × 30 cm): a) Coumarin and umbelliferone, b) Umbelliferone and methyl umbelliferone, c) Coumarin, umbelliferone and methyl umbelliferone, d) Coumarin, umbelliferone and dicoumarin, e) Psoralene and bergapten, f) Coumarin, bergapten and xanthyletin.

For quantitative separation of coumarins, their rechromatography is necessary. Benzene and a mixture of benzene and ethyl acetate (proportions depending upon the nature of the coumarins) have been found to be excellent eluents for the chromatographic separation of compounds of benzo-α-pyrone series adsorbed in alumina. It has been further observed that phenolic coumarins are strongly adsorbed in the column and can hardly be eluted out by using a larger quantity of polar solvents like alcohol. These phenolic coumarins when fluorescent (e.g. umbelliferone) can be readily detected on the column by ultraviolet light and in some cases by brushing the column with ferric chloride[7]). They are best eluted out of the column first by extruding out the chromatogram, then cutting out the zones where they remain adsorbed and by subsequent refluxing these zones with methanol or ethyl alcohol. Coumarins having alcoholic hydroxyl groups are also strongly adsorbed in alumina and an increase in the number of hydroxyl groups, either phenolic or alcoholic, enhances their adsorption affinities towards alumina.

From a mixture of coumarin and methyl umbelliferone (when separated chromatographically into its components), the former always appears in earlier fractions of the eluates. Similarly in the separation of the mixtures of psoralene and its 5-methoxy-derivative, viz., bergapten, psoralene first appears in the eluates. Adsorptions of chromeno-coumarins over alumina are found to be weaker than those of furanocoumarins and in fact xanthyletin which is a chromenocoumarin migrates faster than bergapten, the furocoumarin when their mixture in benzene solution is passed through a column of alumina.

The purity of the coumarins, after their chromatographic resolution has been checked by elementary and spectral

Table 1.

Substance	λ_{max} (in mµ)	log ε values
Xanthyletin . .	225, 251, 261, 342,	4,29, 4,12, 4,22, 4,11
Bergapten . .	221, 251, 260, 266, 312	4,39, 4,24, 4,22, 4,18, 4,16
Coumarin . . .	210*), 276, 307, 311	4,01, 3,69, 3,70
Umbelliferone .	211*), 325	4,1
Methyl umbelliferone	216, 323	4,32, 4,33
Dicoumarin . .	212, 276, 336	4,23, 4,33, 3,88
Psoralene . . .	247, 290, 293, 299	4,36, 4,04, 4,04, 4,04

*) Intense absorption with no maximum.

analysis as also from the calculation of their log ε values shown in Table 1.

Department of Chemistry, University College of Science, Calcutta (India).

ASIMA CHATTERJEE and ANIMA CHOUDHURY.

Eingegangen am 18. Juli 1955.

[1]) SPÄTH, E., and P. KAINRATH: Ber. dtsch. chem. Ges. **70**, 2272 (1937). — CALDWELL, A. G., and E. R. Z. JONES: J. Chem. Soc. **1945**, 540. — SCHMIDT, H.: Helv. chim. Acta **30**, 1661 (1947).
[2]) RIEDEL, K., and L. NEUGEBAUER: Mh. Chem. **83**, 1083 (1952).
[3]) SPÄTH, E.: Ber. dtsch. chem. Ges. **70**, 83 (1937).
[4]) BOSE, P. K., and J. C. CHOUDHURY: Ann. Biochem. Exp. Med. **6**, 1 (1946).
[5]) NOGUCHI, T., and M. KAWANAMI: J. Pharmac. Soc. Japan **59**, 755 (1939).
[6]) SPÄTH, E., and H. HOLZEN: Ber. dtsch. chem. Ges. **66**, 1137 (1933).
[7]) ZECHMEISTER, L., L. V. CHOLNOKY and E. UJHELYI: Bull. Soc. Chim. biol. **18**, 1885 (1936).

Über celluloselösende Tri-(en)-Zink-hydroxydlösungen.

In letzter Zeit sind von JAYME[1]) und JAYME und NEUSCHÄFFER[2]) Metallkomplexlösungen beschrieben worden, die ähnlich wie das schon lange bekannte Tetrammin-Kupfer(II)-hydroxyd, (Cuoxam), und das Di-(en)-Kupfer(II)-hydroxyd [(en) für Äthylendiamin], (Cuoxen), celluloselösende Kraft besitzen: die von uns so benannten Systeme *Cooxen, Nioxam* und *Nioxen*. Es handelte sich bei der Herstellung derartiger Komplexlösungen darum, von einem reaktionsfähigen Metallhydroxyd ausgehend, möglichst hohe Konzentrationen an Aminkomplexen zu erreichen. Dasselbe ist uns nun auch für Tri-(en)-Zink-hydroxyd gelungen, von uns als „*Zinkoxen*" bezeichnet.

Bei Versetzen einer 10%igen Chlorzinklösung bei 90° C mit Ammoniak entsteht ein sehr reaktionsfähiges, noch chlorhaltiges Zinkhydroxyd, das ausgewaschen, mit Aceton digeriert und an der Luft getrocknet, etwa 57% Zn und 8,3 bis 12,6% Cl enthält. *Celluloselösende* Zinkoxenlösungen erhält man, wenn man Aminlösungen, enthaltend 40 Vol-% (en) · H_2O, entsprechend 30,5 Gew.-% (en), bei 0° C unter Rühren mit dem oben beschriebenen Zinkhydroxyd sättigt, bis ein kleiner Überschuß des Hydroxyds verbleibt. Die entstehende Zinkoxenlösung muß mindestens etwa 6 Gew.-% Zn enthalten; höher konzentrierte, bis zu 8,0 Gew.-% Zn enthaltende Lösungen von noch höherer celluloselösender Kraft lassen sich gewinnen, wenn man die gesättigte Lösung durch Zentrifugieren klärt, mit frischem $Zn(OH)_2$ versetzt, nochmals zentrifugiert und gegebenenfalls die beiden letzten Maßnahmen wiederholt. In einer derart hergestellten Zinkoxenlösung mit 8,02 Gew.-% Zn konnten unter Rührung und Eiskühlung Linters von einem DP von ~550 bis zu 2,80 Gew.-% während 45 min leicht aufgelöst werden. — Es ist auffällig, daß bei celluloselösendem Cooxen, Nioxen und Zinkoxen der Metallgehalt ähnlich hoch sein muß.

Die besondere Bedeutung dieser Zinkoxenlösungen für die Cellulosechemie dürfte in *analytischer* Richtung zu suchen sein. Sie sind, zentrifugiert, *farblos* und *klar*, und nur ganz reine Cellulosen lösen sich darin zu farblosen und klaren Lösungen. Verunreinigungen wie gewisse Aschebestandteile, Extraktstoffe, Restlignin u.ä. machen sich sofort durch *Trübung* und *Färbung* bemerkbar. Einige Beispiele sind in folgender Zahlentafel angeführt:

(jeweils 5 mg Zellstoff in 1 ml Zinkoxen mit 6,37% Zn gelöst, −8° C, etwa 2 Std)

Stoff	Lösungszustand	Farbe der Lösung
Linters	ganz gelöst	völlig farblos
Fichtesulfit, gebleicht*) . .	ganz gelöst	völlig farblos
Kiefersulfat, gebleicht ClO_2 .	ganz gelöst	völlig farblos
Kiefer-Edelsulfat, gebleicht .	ganz gelöst	leicht gelblich
Fichtesulfit, halbgebleicht .	ganz gelöst	gelblich
Strohzellstoff, gebleicht . .	leicht getrübt	nahezu farblos
Strohzellstoff, ungebleicht .	Faserreste, getrübt	blaßgelb
Kiefersulfat, ungebleicht . .	Faserreste, getrübt	intensiv gelb

*) Reyonzellstoff.

Die optische Messung der Trübung und Färbung der Cellulose-Zinkoxenlösungen muß sich leicht quantitativ gestalten lassen und kann dann als Grundlage für eine neuartige Schnellanalyse cellulosehaltiger Stoffe dienen.

Institut für Cellulosechemie mit Holzforschungsstelle der Technischen Hochschule, Darmstadt (Direktor: Prof. Dr.-Ing. GEORG JAYME).

GEORG JAYME und KARLHEINZ NEUSCHÄFFER.

Eingegangen am 5. August 1955.

[1]) JAYME, G.: Papier **5**, 244 (1951).
[2]) JAYME, G., u. K. NEUSCHÄFFER: Vortrag Baden-Baden am 1. Juli 1955. Papier (im Druck).

Zur Bildung des Rhodanidiones aus Weißkohlinhaltsstoffen in vivo.

Das Niveau des Rhodanidiones im Blute steht in Korrelation mit dem Grade der Kropfhyperplasie in einer Population. Das Rhodanidion hat aber zu schwache antithyreoideale Eigenschaften, um sich selbst bei Kropfbildung zu beteiligen. Es wurde angenommen, daß das Rhodanid aus der Nahrung in den Organismus gelangt und daß solche Nahrung stärker wirkende antithyreoideale Stoffe enthält oder daß das Rhodanid aus solchen im Stoffwechsel gebildet wird[1]). Weißkohl und verwandte Sorten können die Ausscheidung des Rhodanides erhöhen beim Hunde[2]) und beim Menschen[3]). Diese Erhöhung ist nicht regelmäßig und ist von der verfütterten Menge und weiteren unerkannten Bedingungen abhängig. Weißkohl und andere Vertreter der Brassica-Gruppe besitzen auch antithyreoideale Eigenschaften. Der Gehalt an Isothiocyanaten und deren Strukturbeziehungen zu dem Rhodanid ließen vermuten, daß diese als Rhodanbildner vorkommen könnten.

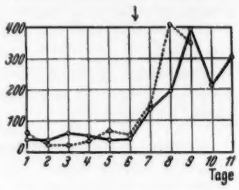


Fig. 1. Die Ausscheidung des Rhodanidiones (mcg SNN″/24 Std) durch die Ratte nach 3-Indoylacetonitril o---o und Benzylcyanid o——o in einer Menge von 2 mg täglich. Anfang der Verfütterung durch Pfeil bezeichnet.

Nach Verfütterung von Allylisothiocyanat und Phenylisothiocyanat konnte bei weißen Ratten keine signifikante Erhöhung der Rhodanausscheidung beobachtet werden. Isothiocyanate wurden in verschiedenen Gaben zur Nahrung (LARSEN-Diät ohne Luzerne) bis zu 20 mg pro Ratte und Tag zugegeben. Der 24 Std-Harn wurde täglich gesammelt; nach ALDRIDGE[4]) wurden die Rhodanide bestimmt. Es besteht jedoch die Möglichkeit, daß Isothiocyanate, falls sie in den Harn unverändert gelangen, die Analysenwerte beeinflussen. Stichproben zeigten aber keinen faßbaren Gehalt an Isothiocyanaten im Harn. Isothiocyanate kommen also nicht als signifikante Rhodanbildner in Betracht.

Es ist bekannt, daß die aliphatischen Nitrile gute Rhodanbildner sind. HENBEST und Mitarbeiter[5]) isolierten aus Weißkohl einen neuen Wuchsstoff, das 3-Indoylacetonitril. Durch Gefälligkeit des Herrn Dr. HENBEST, der uns ein Muster des 3-Indoylacetonitrils zur Verfügung stellte, konnten wir prüfen, ob dieser Stoff der Rhodanbildner des Weißkohls ist. Es wurde 2 mg des 3-Indoylacetonitrils pro Ratte und Tag zur Nahrung zugegeben. Nach dieser Gabe wurde ein signifikanter Anstieg der täglich ausgeschiedenen Rhodanidmenge beobachtet. Der Verlauf der Rhodanidbildung ist dem Verlauf nach Verfütterung von 2 mg Benzylcyanid sehr ähnlich, wie aus der Fig. 1 sichtbar ist. Einmalige Verfütterung von 2 mg Indoylacetonitril an Menschen führte zu keiner bemerkbaren Erhöhung der ausgeschiedenen Rhodanmenge.

Die Resultate bei den Ratten zeigen, daß die Umwandlung des Indoylacetonitrils in das Rhodanid nicht quantitativ verläuft. Es wird etwa ein Drittel des Nitrils in das Rhodanid übergeführt. Einerseits wird das gebildete Rhodanid metabolisch abgebaut, andererseits kann auch die Umwandlung des Nitrils anders verlaufen. Nach größeren Gaben wurde die Rhodanbildung auch beim Menschen beobachtet. Es wurde also das natürlich vorkommende 3-Indoylacetonitril als Rhodanbildner des Weißkohls erkannt. Die kleine Menge, die uns bisher zur Verfügung stand, erlaubte uns nicht, seine antithyreoidealen Eigenschaften zu bestimmen. Analog zu anderen Nitrilen kann man aber eine gewisse derartige Aktivität voraussetzen, die aber nicht so groß werden kann, um die

antithyreoidealen Eigenschaften des Kohls und der Vertreter der Brassica-Gruppe erklären zu können.

Biochemische Abteilung des Zentralen endokrinologischen Institutes, Prag, Národn. 8.

LUDĚK JIROUSEK.

Eingegangen am 9. August 1955.

[1]) ŠILINK, K., u. L. MARŠÍKOVÁ: Nature [London] **167**, 528 (1951).
[2]) DEZANI, S.: Arch. Farmacol. sperim. **26**, 115 (1918). — Chem. Zbl. **1**, 485 (1919).
[3]) Eigene Beobachtungen.
[4]) ALDRIDGE, N. W.: Analyst **69**, 262 (1944); **70**, 474 (1945).
[5]) HENBEST, H. B., R. H. E. JONES u. G. F. SMITH: J. Chem. Soc. [London] **1953**, 3796.

Amino Acid Metabolism of Starving *Phaseolus vulgaris* Leaves. A Chromatographic Study.

The results of CHIBNALL[1]) and MOTHES[2]) have shown that the breakdown of proteins and a simultaneous increase in the free amino nitrogen and amide content during the starvation of *Phaseolus multiflorus* leaves, is independent of light and dark. They could not possibly detect the range of free amino acids being formed during the starvation in light and dark. The present work is an attempt to study chromatographically the changes in the amino acid and amide content of starving *Phaseolus vulgaris* leaves using RANJAN et al's[3]) technique of horizontal paper chromatography.

The content of free amino acids, present at 0 hrs. in the leaves, shows interesting variations during starvation period. Although tyrosine (R_f 0·69), alanine (0·60), and glutamic acid (0·54) increase in quantity during the first 72 hours of starvation in both light and dark, tyrosine and alanine do not show any notable change during the later hours as judged by the intensity of their bands, whereas glutamic acid band becomes faint and reaches the minimum intensity at 168 hours. The content of aspartic acid (R_f 0·48) shows interesting variations during starvation in light and dark. In dark it increases tremendously during the first 120 hours where the band shows its maximum depth, and after which it decreases. In light though the content of aspartic acid formation is less than in dark during the initial period of starvation, it does not show any decrease even upto 168 hours where the band shows its maximum intensity. Arginine (0·37) becomes untraceable during the starvation period probably because of increasing amounts of asparagine which is liable to overlap the arginine band. The accumulation of asparagine (R_f. 0·39) during the starvation period is tremendous even during the first 51 hours where it shows a very broad band. The content of asparagine goes on increasing with the advancing starvation period both in light and dark. The unidentified band having R_f value (0·16) lower than cystine, is present throughout the starvation period without being prominent enough to be detected in the photographs.

Apart from the changes in the content of the various free amino acids originally present in the leaves new range of amino acids also come in the free state. Leucine-isoleucine (R_f 0·89), phenyl-alanine (R_f 0·83) and valine-methionine (R_f 0·79) all come in the free state at 51 hours of starvation in dark. In light though leucine-isoleucine and valine-methionine come in the free state at 51 hours of starvation, phenyl-alanine makes its appearance only at 120 hours of starvation. Leucine-isoleucine, phenyl-alanine and valine-methionine show the maximum depth of their bands at 120 hours of starvation in dark after which they reduce in quantity and the bands become faint. In light though the content of leucine-isoleucine decreases at 147 hours and onwards, phenyl-alanine and valine-methionine do not show any decrease in the intensity of their bands even upto 168 hours of starvation.

Multiple development of the chromatogram have shown that histidine-lysine (R_f 0·54 MD) also comes in the free state at 72 hours of starvation in dark whereas in light it appears only at 120 hours. The band persists throughout the starvation period without showing any significant change in its content. A yellow band having R_f value (0·53 MD), whose position corresponds to that of hydroxy-proline, shows interesting changes in light and dark. This band persists even upto 168 hours of starvation in light, but in dark it is traceable only upto 72 hours of starvation.

The possibility exists that the new range of free amino acids are formed as a result of hydrolysis of insoluble leaf protein, but the difference in time for the appearance of new amino acids in light and dark, is not yet clear. The persistence of yellow band (probably hydroxyproline) during starvation in light and its absence in dark shows that it enters some other path in the metabolic drift in dark and is used up whereas in light its utilization is considerably checked. The reduction in the content of certain amino acids during the late hours of starvation suggests that these are probably then used up in respiration.

Acknowledgments. We wish to thank SHRI GOVIND JEE, SHRI T. RAJA RAO, SHRI K. S. BILGRAMI and SHRI B. B. S. RAIZADA for their help during this investigation.

Department of Botany, University of Allahabad, Allahabad (India).

SHRI RANJAN and M. M. LALORAYA.

Eingegangen am 13. August 1955.

[1]) CHIBNALL, A. C., and CHANNON: Biochemic. J. **18**, 395 (1924).
[2]) MOTHES, K.: Planta **1**, 472 (1925).
[3]) RANJAN, S., GOVINDJEE and M. M. LALORAYA: Proc. Nat. Inst. Sci. India (in Press).

Untersuchungen über Hirudin.

Hirudin (Hi.), der blutgerinnungshemmende Wirkstoff aus medizinischen Blutegeln, wurde rein dargestellt. Nach Extraktion aus Blutegelköpfen und Entfernung des Hauptteils der unwirksamen Ballaststoffe durch fraktionierte Fällung mit Alkohol und Fällung mit Trichloressigsäure gelang der für die Reinigung entscheidende Schritt durch Verteilungschromatographie an der Papierpulversäule und durch präparative Elektrophorese. Wir gewannen eine papierchromatographisch und papierelektrophoretisch einheitliche Substanz. Es handelt sich um ein hochmolekulares Polypeptid, dessen Molekulargewicht wir nach Versuchen mit der Ultrazentrifuge und fraktionierter Ultrafiltration auf etwa 20000 schätzen. Der isoelektrische Punkt liegt bei p_H 4,0. Die Aminosäurezusammensetzung wurde nach Hydrolyse und Vortrennung in Gruppen durch Hochspannungsionophorese papierchromatographisch ein- und zweidimensional bestimmt. Es wurden gefunden: Glycin, Alanin, Valin, Leucin, Glutaminsäure, Asparaginsäure, Cystin, Serin, Threonin, Lysin, Arginin, Tyrosin und Prolin.

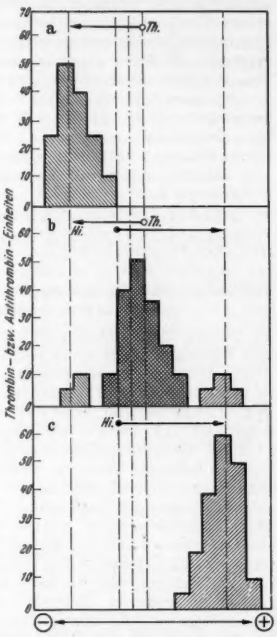


Fig. 1 a—c. Wanderung von Thrombin (*Th.*) und Hirudin (*Hi.*) im elektrischen Feld. a Thrombin allein, b Thrombin und Hirudin, c Hirudin allein. Die Pfeile geben die Richtung der Wanderung auf dem Elektrophoresestreifen an.

Zur Klärung des Wirkungsmechanismus wurden Versuche mit gereinigten Blutgerinnungsfaktoren angestellt. Die gerinnungshemmende Wirkung des Hi.s beruht auf seiner Fähigkeit, eine Verbindung mit dem Gerinnungsferment Thrombin (Th.) zu bilden, wodurch dessen katalytische Wirkung zum Erlöschen gebracht wird. — Da diese Reaktion stöchiometrischen Gesetzen folgt, konnten wir eine Methode zur quantitativen Bestimmung des Hi.s entwickeln. Sie beruht im Prinzip darauf, daß eine mit Hi. versetzte Fibrinogenlösung auf steigenden Zusatz von Th. so lange ungeronnen bleibt, bis alles Hi. gebunden ist. Ein Überschuß von Th. macht sich an der Umwandlung des Fibrinogens in Fibrin und damit der Gerinnung der Probe bemerkbar. Die Wirksamkeit des Hi.s kann daher in „Antithrombineinheiten" (AT.-E.) angegeben werden, wobei eine AT.-E. derjenigen Menge Hi. entspricht, die eine NIH-Einheit Th. (NIH = National Institute of Health) in seiner Wirkung auf das

Fibrinogen unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen zu blockieren vermag. Eine AT.-E. entspricht 0,12 γ reinen Hi.s.

Den Wirkungsmechanismus des Hi.s konnten wir mit Hilfe eines einfachen elektrophoretischen Verfahrens anschaulich machen, indem wir die allgemein übliche Papierelektrophorese in der „feuchten Kammer", die zur Trennung von Eiweißstoffen dient, in diesem Falle zur Erkennung der Reaktion zwischen Hi. und Th. benutzten. Dies war möglich, da sich Hi. und Th. durch die Lage ihrer isoelektrischen Punkte unterscheiden (Hi. I.P. = p_H 4,0; Th. I.P. = p_H 4,7). Sie besitzen daher bei Verwendung eines Puffers mit einem p_H-Wert zwischen 4,0 und 4,7 unterschiedliche Wanderungsrichtung im elektrischen Feld. — Wir trugen eine Hi.-Lösung und eine Th.-Lösung 1 cm voneinander entfernt strichförmig auf dem Elektrophoresestreifen auf und ließen sie gegeneinander laufen (Ammonacetatpuffer p_H 4,3; 0,7 mA/cm; 8 V/cm; Laufzeit 5 Std bei + 2° C). Auf je einem Parallelstreifen läuft eine Th.-Lösung und eine Hi.-Lösung allein zur Kontrolle. Nach der Elektrophorese werden die Streifen in $^1/_2$ cm breite Querstreifen zerschnitten und diese mit isotonischem Phosphatpuffer p_H 7,0 eluiert. Die Eluate werden in je drei Teile geteilt und auf ihren Gehalt an Th., Hi. und Th.-Hi.-Komplex getestet. Der Gehalt an Hi. wurde in der angegebenen Weise durch Titration mit Th. bestimmt. Der Th.-Gehalt wurde gemessen, indem eine bekannte Menge Hi. vorgelegt, die unbekannte Th.-Lösung hinzugegeben und das nicht verbrauchte Hi. zurücktitriert wurde. Der Th.-Hi.-Komplex wurde ermittelt, indem das Eluat 15 min auf 80° C erhitzt wurde, wodurch das Th. denaturiert und das bei dieser Temperatur noch beständige Hi. aus dem Komplex quantitativ in Freiheit gesetzt wird, was an der erneut auftretenden Wirkung gegen frisches Th. erkannt werden kann. Das Ergebnis der Austestungen zeigt die Fig. 1.

Bei dem innigen Kontakt während der Überwanderung verbindet sich der größte Teil der beiden Reaktionspartner zu einem inaktiven Komplex. Dieser Komplex besitzt einen isoelektrischen Punkt bei p_H 4,3 und wandert bei Verwendung von Pufferlösungen mit anderem p_H-Wert geschlossen im elektrischen Feld.

Pharmakologisches Institut der Universität, Greifswald.

Eingegangen am 5. August 1955. FRITZ MARKWARDT.

Ein Vorschlag zur Konservierung größerer Massen von Mikroorganismen unter Erhaltung der vitalen Eigenschaften.

Es gibt nicht viele brauchbare Methoden, größere Massen von Mikroorganismen so zu stabilisieren oder zu konservieren, daß nach Monaten oder Jahren noch ihre alten Eigenschaften in biologisch-enzymatisch-genetischer Hinsicht erhalten bleiben. Trocknung und selbst die viel schonendere Gefriertrocknung sind nicht restlos befriedigend. Dasselbe gilt natürlich auch für die im folgenden vorgeschlagene Methode. Zugrunde liegt die bekannte Tatsache, daß durch konzentrierte Neutralsalzlösungen Eiweißkörper ohne irreversible Denaturierung ausgefällt und nach Entfernung des Salzmilieus wieder in den alten Zustand versetzt werden können. Wir mischten bei unseren ersten Versuchen größere Mengen von Backhefe, z. B. 100 g mit 62 g (geglühtem) wasserfreiem Natriumsulfat. Es trat Verflüssigung ein, der nach einiger Zeit ein Erstarren der ganzen Masse durch „Rekristallisation" des $Na_2SO_4 \cdot 10\,H_2O$ folgte. Man erhielt eine weißliche, bröckelige bis pulverige Trockenmasse, die z. B. in Pulverflaschen aufbewahrt werden kann. Dies ist ein gewisser Vorteil gegenüber der Verwendung der meisten anderen Salze, z. B. Kochsalz, bei denen ein flüssiges Endprodukt entstehen würde[1]). Außer Natriumsulfat fanden wir auch andere Salze mit gestuftem Kristallwassergehalt geeignet, z. B. sekundäres Natriumphosphat.

Das „Einsalzen" als Konservierungsmethode ist zwar allgemein bekannt, mit Natriumsulfat wurde es von F. LINDNER[2]) erstmals bei Pankreasdrüsen mit Erfolg unter Erhaltung der Insulinwirkung angewendet.

Es fragte sich bei unseren Versuchen nun, inwiefern eine Abtötung der Organismen und eine Veränderung der Biokatalysatoren eintritt. Mikroskopische Untersuchungen und Färbemethoden ergaben, wie zu erwarten, hier nicht ohne weiteres richtige Aussagen. Wichtig war für unsere Problemstellung aber der überraschende Befund, daß es leicht gelingt, die so konservierte Mikrobenmasse relativ einfach zu reaktivieren. In Versuchen mit Hefe, die der Verfasser zum erstenmal im Studentenpraktikum 1949/50 von den Herren cand. phil. TROMM und CREMER machen ließ, und die dann später nochmal von Fräulein E. SCHWIEGER und zuletzt von Herrn Dr. HANS FÜSSER wiederholt und erweitert wurden, ergab sich dann, daß selbst nach mehreren Jahren die Hefe nach vorsichtiger Wiederbefeuchtung und nach Einbringen in geeignete Nährlösungen rasch Gärleistungen und Vitalitätssymptome zeigt, die sich bisher von den Ausgangshefen nicht unterschieden. Die Erwartungen an diese einfache und billige Methode sind (zunächst allerdings nur für Backhefe) ähnlich, wie man sie an die Gefriertrocknung stellt. Es scheint aber die Erstarrung der Zellen in der Glaubersalzkristallisation eine bessere Stabilisierung der biologisch-enzymatisch-genetischen Eigenschaften zu bedeuten als bei den alten Verfahren dieser Art, wie Lufttrocknung, Aufbewahrung in 10%iger Rohrzuckerlösung usw. Aus unseren nunmehr fast fünf Jahre laufenden Untersuchungen teilen wir noch mit, daß sich das Verfahren bisher am besten für Preßhefe (Bäckerhefe) eignete, dagegen bisher nicht gleich gut für verschiedene Bierhefen, für untergärige besser als für obergärige, am wenigsten für Torula utilis. Für Schimmelpilze und Bakterien liegt noch kein endgültiges Ergebnis vor. Die Tatsache aber, daß die mehrere Jahre alten Natriumsulfat-Hefepräparate sich bei der Reaktivierung meist als Reinkultur erwiesen, obwohl bei ihrer Herstellung keine besonderen Sterilitätsmaßnahmen ergriffen und von handelsüblichen Preßhefepfunden ausgegangen wurde, deuten fürs erste in der Richtung, daß es jedenfalls nicht allgemein für Bakterien anwendbar sein dürfte[3]). Die Methode eignet sich jedoch, wenn es gilt, größere Hefemengen, z. B. Stellhefe für Preßhefefabriken ohne Gefahr des Verderbs zu versenden. Man könnte auch von jeder produzierten Hefecharge Proben gewissermaßen für ein „Hefe-Archiv" in stabilisierter Form für mehrere Jahre im Kühlschrank aufbewahren.

Institut für Gärungswissenschaft und Enzymchemie der Universität, Köln, und Landwirtschaftliche Fakultät der Universität, Bonn.

HERMANN FINK.

Eingegangen am 1. Juli 1955.

[1]) Mit dem Problem der Herstellung von Trockenbackhefe beschäftigten wir uns gemeinsam mit H. WILDNER nach 1945 längere Zeit. Siehe Brauwissenschaft **1952**, 97, 120, 134, 149.

[2]) LINDNER, F.: Chronicle of the World Health Organization, Bd. II, Nr. 7, S. 153—155. 1948.

[3]) Es scheint uns eher, daß das Verfahren bei Hefe außer der Konservierung die Möglichkeit der gleichzeitigen Reinigung von Bakterien-Infektionen einschließt.

Die Röntgenkontrastwirkung von Thorium-äthylen-diamin-tetraessigsaurem Natrium.

Wegen seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften erwies sich Thorium bzw. seine Verbindungen als vorzügliches Röntgenkontrastmittel. Unter dem Namen „Thorotrast" wurde es in Form einer kolloidalen, stabilisierten Lösung zur Hepato-Spleno- und Arteriographie verwendet. Thoriumdioxyd wird jedoch praktisch nicht eliminiert, vielmehr im Retikuloendothel gespeichert. Infolge der Speicherung und Strahlung führt es zu reaktiver Bindegewebswucherung und Sarkombildung, so daß es zu diagnostischen Zwecken nicht mehr verwendet wird. Thorium bildet mit äthylendiamintetraessigsaurem Natrium (Komplexon III) gut wasserlösliche Komplexe. Bekannt sind auch Komplexverbindungen mit Blei, Kalzium usw. Diese sind durchweg gut harnfähig und werden zum größten Teil innerhalb weniger Stunden durch die Nieren eliminiert.

Fig. 1. Röntgendarstellung von Niere und Blase 30 min nach der Injektion.

Wir prüften in Tierversuchen, ob der Thoriumkomplex unter den Verhältnissen in vivo stabil ist, und verfolgten durch serienmäßige Röntgenaufnahmen (alle 10 min) die Ausscheidung durch die Nieren. Als Vergleich wurde Thoriumchlorid in die Versuche einbezogen. Mäusen beiderlei Geschlechts wurde der Thoriumkomplex als m/10 Lösung (p_H 6,5) intraperitoneal injiziert. Die letale Dosis lag hierbei zwischen 3 bis 4 g/kg Maus. Das Vergiftungsbild zeigte keinerlei Ähnlichkeit mit dem des Äthylendiamin-tetraessigsaurem Natriums, welches, wie bekannt, zu Kalziumentzugserscheinungen

führt. Bei Instabilität des Thoriumkomplexes müßten als Folge des Kalziumentzugs hypocalcämisch-tetanische Symptome auftreten. Wir konnten solche Erscheinungen jedoch in keinem Fall beobachten, selbst dann nicht, wenn mit dem Thoriumkomplex das Zehnfache der Menge an Äthylendiamintetraessigsäure zugeführt wurde, die für sich allein Krämpfe und Exitus hervorruft.

20 bis 30 min nach der Injektion von 0,2 bis 0,4 g/kg und weniger war die Blase röntgenologisch gut darstellbar. Fig. 1 zeigt die Röntgendarstellung von Niere und Blase 30 min nach der Injektion. Nach 2 Std war im allgemeinen röntgenologisch weder im Peritonealraum noch in der Blase ein Thoriumschatten nachweisbar. Nur nach hohen Dosen (> 2 g/kg) war dann die Blase noch darstellbar.

Kontrollversuche mit entsprechenden Dosen Thoriumchlorid zeigten, daß eine Resorption des injizierten Salzes in der Bauchhöhle offenbar nicht stattfindet: Im Verlauf von 5 Std waren weder Niere noch Blase darstellbar.

Unsere Versuche, die fortgesetzt werden und über die noch eingehender berichtet wird, zeigen, daß die komplexe Thoriumäthylendiamin-tetraessigsäureverbindung aus der Bauchhöhle schnell resorbiert wird, gut harntähig und auch ausreichend stabil ist, so daß eine kontrastreiche röntgenologische Darstellung der abführenden Harnwege erreicht wird. Wegen der geringen Toxizität und guten Wasserlöslichkeit scheinen weitere Untersuchungen aussichtsvoll, zumal Strahlenschäden bei der kurzen Verweildauer des Komplexes im Organismus kaum zu erwarten sind.

Pharmakologisches Institut der Karl-Marx-Universität, Leipzig. FRITZ HAUSCHILD und GÜNTHER DENTZER.

Eingegangen am 1. Juli 1955.

Der Kommentkampf der Kreuzotter (Vipera berus L.).

Kommentkämpfe, also Auseinandersetzungen, bei denen Rivalen nach bestimmtem Zeremoniell turnierartig miteinander kämpfen, ohne sich gegenseitig zu verletzen, wurden

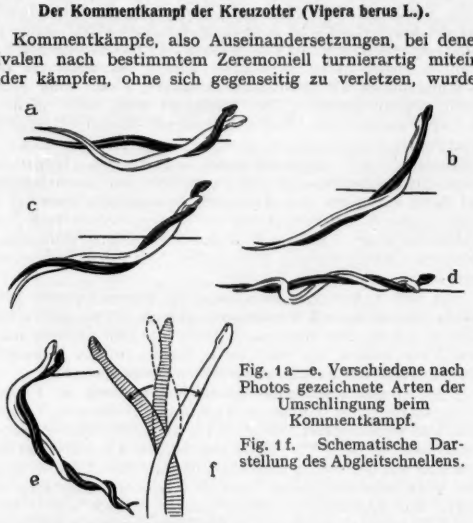


Fig. 1a—e. Verschiedene nach Photos gezeichnete Arten der Umschlingung beim Kommentkampf.

Fig. 1f. Schematische Darstellung des Abgleitschnellens.

bisher nur in Einzelfällen genauer analysiert; so etwa bei Buntbarschen[1]), Zauneidechsen[2]) und Meerechsen[3]). Im Rahmen einer Verhaltensuntersuchung an Viperiden konnten die bei diesen Schlangen vor der Paarung zwischen männlichen Tieren häufig stattfindenden Kommentkämpfe ebenfalls eingehend studiert werden: Treffen sich während der Paarungszeit bei geeignetem Wetter paarungswillige Geschlechtspartner, so zeigt das Männchen normalerweise nach kurzem Bezüngeln des weiblichen Tieres intensive, ruckweise Bewegungen in Kriechrichtung. Die Frequenz der besonders in der vorderen Körperhälfte sichtbaren Ruckbewegungen (*Stoßrucken*) beträgt 2 bis 3 je Sekunde. Das ♂ bezüngelt beim Stoßrucken ständig Rücken und Seiten des langsam vorwärts kriechenden ♀ und bewegt sich meist in Richtung auf dessen Kopf. Bei einer ruhig liegenden Partnerin wendet sich die männliche Otter dann oft nach kurzer Zeit, ständig ruckend und züngelnd, der hinteren Körperhälfte des Weibchens zu, wobei das Züngeln an den der Kloake nächstliegenden Stellen der Seitenpartie seine stärkste Intensität erreichen kann. Häufig zeigen auch paarungswillige ♂♂ bestimmte, periodisch aufeinanderfolgende Nickbewegungen, die mit Kopf- und vorderem Rumpfabschnitt ausgeführt werden. Dabei bilden die unmittelbar hinter dem Schädel sitzenden Wirbel den Hauptdrehpunkt. Dieses Nicken erfolgt meist so, daß die Kopfunterseite des agierenden Tieres jeweils leicht auf den Rücken der weiblichen Otter stößt. Es kann aber auch in einiger Entfernung von der Partnerin mit leicht erhobenem Kopf über dem Boden ablaufen oder derart, daß nur die untere Seite des Kopfansatzes vom Männchen auf dem Rücken des Weibchens liegt und die die größten Bewegungen ausführende Spitze des Maules frei darüber hinweg ragt. Zuweilen führt das ♂ diese Nickbewegungen auch auf dem eigenen Rücken aus. Bei Anwesenheit weiterer sexuell erregter Männchen kommt es jetzt zwischen zwei Rivalen häufig zu einem Kommentkampf. Bedingung für seine Auslösung ist ebenso wie bei turnierartig kämpfenden Fischen, Zauneidechsen und Meerechsen, daß das von einem gleichgeschlechtlichen Artgenossen angedrohte ♂ ebenfalls Imponiergehaben zeigt. Diese Verhaltensweise besteht darin, daß ein erregtes Männchen in Sichtweite eines anderen Männchens den meist S-förmig gebogenen Vorderkörper in mehr oder weniger spitzem Winkel über den Boden erhebt. Die Reaktion der Angedrohten ist verschieden: Sexuell schwach erregte Tiere reagieren nicht sichtbar auf die Drohung und verharren in ihrer Ruhestellung. Flüchtende werden vom imponierenden Tier kurzfristig verfolgt. Zum Kampf kommt es, sobald ein angedrohtes Männchen gegenimponiert. Beim Imponierbeginn befinden sich die Rivalen entweder nebeneinander oder hintereinander, so daß der vordere dem hinteren die Rückenseite darbietet. Die aufgerichteten, imponierenden Tiere nehmen Kontakt und beginnen, sich gegenseitig zu umschlingen. Zahl und Größe der Schlingen variieren in gewissen Grenzen. An Stelle von einzelnen großen Schlingen kommen auch mehrere kleinere Windungen vor, von denen in einem Falle bei kämpfenden Ottern fünf gezählt wurden. Außer den verschiedensten Abschnitten des Rumpfes können sich auch die Schwänze umwinden. In jedem Falle legen die Rivalen bei der Umschlingung ihre Köpfe nebeneinander, und zwar befindet sich bei der Endschlinge der Kopf des nach rechts kommenden Partners auf der rechten Seite des Kopfes vom nach links gerichteten Rivalen. Darauf folgt ein kurzwährendes, sehr heftiges Gegeneinanderpressen der Köpfe und unmittelbar anschließender Rumpfteile, die dann durch gegenseitiges Abgleiten auseinanderschnellen (*Abgleitschnellen*). Das ohne Gebrauch der Zähne erfolgende Ringen zwischen den beiden Rivalen, die auch beim Abgleitschnellen in den hinteren Körperhälften meist durch Schlingen verbunden bleiben, wird so lange wiederholt, bis ein Partner aufgibt und sich löst. Beschädigungskämpfe wurden bei sexuell erregten Kreuzottermännchen in keinem Falle festgestellt. Gewisse, vereinzelt beobachtete Verhaltensweisen deuten bei manchen Unterlegenen auch auf eine aktive Unterwerfung hin. Nähere Einzelheiten werden an anderer Stelle im Rahmen einer vergleichenden Betrachtung des Kampf- und Paarungsverhaltens weiterer Viperiden mitgeteilt.

Zoologisches Institut der Universität, Mainz.

Eingegangen am 26. Juli 1955. ERHARD THOMAS.

[1]) SEITZ, A.: Z. Tierpsychol. 6, 202 (1950).
[2]) KITZLER, G.: Z. Tierpsychol. 4, 353 (1942).
[3]) EIBL-EIBESFELDT, I.: Z. Tierpsychol. 12, 49 (1955).

Über die Haltung von Bienen in geschlossenen, künstlich beleuchteten Räumen *).

Für eine Reihe von Untersuchungen ist es notwendig, Bienen in abgeschlossenen, künstlich beleuchteten Räumen unter kontrollierbaren Bedingungen zu halten. Trotz mannigfacher Bemühungen gelang es bisher nicht, diese Räume so zu gestalten, daß der Betrieb in den Stöcken und die Flug- und Sammeltätigkeit wie im Freien weiterlief. Die Trachtbienen waren nicht zum Fliegen zu bringen — sie suchten den Futterplatz kriechend auf —, oder sie umflogen die Beleuchtungskörper so lange, bis sie ermattet zu Boden fielen[1a,b]),[6]); die Kotentleerungen fanden nicht oft genug statt, so daß die Völker rasch erkrankten und meist schon nach einigen Wochen zugrunde gingen[1]),[2]),[3]), und die Bruttätigkeit ließ bald nach, um schließlich völlig aufzuhören[2]),[3]). Nur PRILUTZKIS[5]) Bienen brüteten länger; doch gelang es DRABATY[3]) und CHAUVIN[2]), obwohl sie mit seiner Methode arbeiteten, nicht, gleiche Erfolge zu erzielen.

Eine Arbeit über den Zeitsinn veranlaßte mich 1951, die Haltung und Zucht von Bienen in Räumen zu versuchen. Nach anfänglichen Mißerfolgen gelang dies in befriedigendem Maße. In meinem Bienenraum 1 befindet sich seit November

1953, also seit nahezu 2 Jahren, ununterbrochen ein Krainervolk. Die Arbeiterinnen fliegen frei im Raum umher, sammeln am 5 m vom Stock entfernten Futterplatz Zuckerwasser oder höseln an einer anderen Stelle Pollen. Die Königin legt regelmäßig und seither ohne Pause (auch im Winter!), und ebenso regelmäßig schlüpfen Jungbienen, verendete ersetzend.

Im folgenden seien die Eigenschaften der zur Haltung von Bienen geeigneten Räume geschildert. Einer der wichtigsten Faktoren ist die Größe; sie soll 4,5 m Länge, 2,5 m Breite und 2,5 m Höhe nicht unterschreiten! Nicht weniger bedeutungsvoll ist die Helligkeit. Meine weiß gekalkten Bienenräume sind mit so viel Leuchtstoffröhren (Osram, HNW 202 bzw. 400) ausgestattet, daß 1 m über dem Boden 500 bis 1000 Lux gemessen werden. Knapp unter den Röhren ist, um die Beleuchtung diffus zu machen, ein „Firmament" aus Transparentpapier**) (Nr. Elfenbein 60 der Firma E. Feucht, München 2,

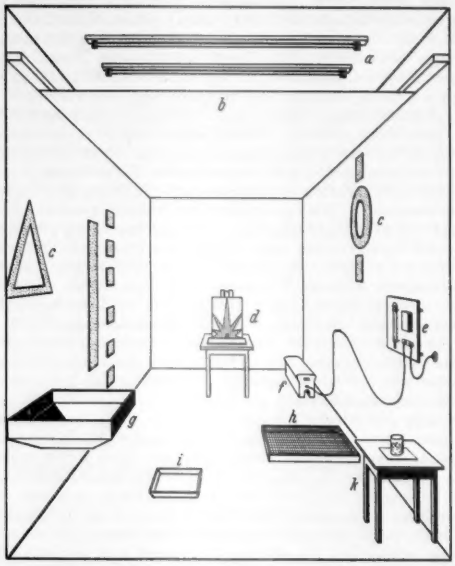


Fig. 1. Querschnitt durch einen Bienenraum. *a* Leuchten, *b* Transparentpapierdecke, *c* Orientierungsmarken, *d* Bienenstock, *e* Kontaktthermometer und Relais, *f* elektrischer Heizkörper, *g* Pollenwanne, *h* vergitterte Wasserwanne, *i* Tränke, *k* Futtertisch.

Richard-Wagner-Straße 18) aufgespannt. Durch ein Kontaktthermometer gesteuerte elektrische Heizkörper halten etwa 28° C konstant, und mit Hilfe einer flachen, vergitterten Wasserwanne wird die Feuchtigkeit auf 60 bis 80% einreguliert. Große Figuren an den Wänden und eine farbige Markierung des Stockeinganges erleichtern den Bienen die Orientierung. Eine Schale mit täglich zu erneuerndem Wasser dient als Tränke, während Pollen (pulverisierte, getrocknete Höschen oder von der Blüte gewonnen; letzterer von der Firma A. H. Hale, Hapeville, Georgia, USA., zu beziehen), um ein Verstäuben durch den Flugwind der Bienen zu verhindern, in einer 20 cm tiefen, schrägwandigen Wanne geboten wird. Zur Aufrechterhaltung des Brutgeschäftes ist es außerdem notwendig, ab und zu eine Pollenwabe einzuhängen. Sauberkeit und häufiges Waschen des Fußbodens und aller Gegenstände sind selbstverständlich; der Anstrich gekalkter Wände ist alle 6 Monate zu erneuern. Trotzdem auftretende Nosema-Erkrankungen können mit Fumidil B erfolgreich behandelt werden. Das Errichten eines Futterplatzes geschieht in der üblichen Weise[4],[1]), jedoch ist, um die ersten Bienen eines neu aufgestellten Stockes zum Fliegen zu bringen, einige Geduld erforderlich. Rascher kommt man zum Ziel, wenn man anfangs an natürlicher Tracht (Blüten von Raps, Löwenzahn, Phacelia, in Wassergläsern aufgestellt) sammeln läßt. Die durch die Tänze alarmierten Neulinge finden beim Verfüttern von reinem Zuckerwasser verhältnismäßig schlecht zur Trachtquelle, leicht dagegen, wenn man dem Zuckerwasser Honig beimischt und Futterplatz und Bienen mit einem ätherischen Öl beduftet.

Die Haltung von Bienen auf diese Art hat sich in den vergangenen 3 Jahren hier in einer Anzahl von Versuchen bewährt. Viele sinnes- und ernährungsphysiologische Untersuchungen, die bisher undurchführbar waren, können nun vorgenommen werden. Verbesserte Bienenräume, welche leicht sauber zu halten sind und ein tägliches Entfernen des an Wänden und Decke abgesetzten Kotes erlauben, würden die Verwendung von Fumidil unnötig machen. Ein nach bisherigen Erfahrungen idealer Bienenraum sollte mindestens 7 m lang, 3 m breit und 3 m hoch sein, gekachelte Wände und ein „Firmament" aus Mattglas haben. Die Lichtstärke 1 m über dem Boden soll etwa 1200 Lux betragen.

Zoologisches Institut der Universität, München.

Eingegangen am 24. August 1955. Max Renner.

*) Unterstützt aus Mitteln, die Professor v. Frisch von seiten der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Rockefeller Foundation zur Verfügung standen.

**) Die wie Mattscheiben trüb lichtdurchlässigen Transparentpiere finden in Druckerei und Lichtpauserei vielfach Verwendung.

[1]) Beling, I.: (a) Z. vergl. Physiol. **9**, 259 (1929). — (b) Arch. Bienenkde. **12**, 352 (1931).

[2]) Chauvin, R.: L'Apiculteur (Section Scientifique) Octobre 1953.

[3]) Drabaty, L.: Arch. Bienenkde. **12**, 277 (1931).

[4]) Frisch, K. v.: Abderhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, S. 365. 1921.

[5]) Prilutzki, J.: Westnik rossiskogo i inostrannogo ptschelowodstwa **1926**, H. 6 u. 7. — Vorführung des Winterfluges der Bienen und der Begattung der Königin im geschlossenen Raum. Maschinenschrift an K. v. Frisch (1926?). — Nowosti ruskogo i inostrannogo ptschelowodstwa, S. 171. 1927.

[6]) Wahl, O.: Z. vergl. Physiol. **16**, 529 (1932).

Ein Transozeanversuch zum Zeitsinn der Honigbiene *).

Ingeborg Beling[1]) hat als erste exakt nachgewiesen, daß die Bienen einen Zeitsinn haben. Dieser funktioniert auch dann, wenn man Helligkeit und Temperatur konstant macht und die tagesperiodische Ionisation der Luft stört[1]) oder sie völlig ausschaltet[7]). Auch weitere Untersuchungen[3]),[4]),[8]) konnten bisher nicht zweifelsfrei klären, ob dieser an das 24-Stundenintervall gebundene Zeitsinn[1]),[7]) von einer endogenen, organismischen „Uhr" gesteuert wird, oder ob doch ein bisher unbekannter oder unbeachteter, exogener (vielleicht zölestischer) Faktor als Zeitgeber in Frage kommt. Ein von v. Frisch[2]) 1937 vorgeschlagenes Experiment, Bienen in einem Ortszeitbereich auf eine bestimmte Zeit zu dressieren und dann auf einem sich westwärts bewegenden Dampfer in einem anderen Ortszeitbereich zu prüfen, wurde zwar vor Jahren von seiner Schülerin M. Hörmann in Angriff genommen, scheiterte aber an äußeren Umständen. Nun wurde es in etwas abgeänderter Form durchgeführt.

Ich ließ in München zwei einander bis ins einzelne gleichende Bienenräume[6]) konstruieren (Länge 4,5 m, Breite und Höhe je 2.6 m), den einen nach Paris und den anderen nach New York senden, wo man sie in bezug auf die Himmelsrichtung gleichermaßen orientiert zusammensetzte. Ab 27. 5. 55 dressierte ich eine Schar Bienen eines im Pariser Raum aufgestellten Volkes bei konstanter Helligkeit, Temperatur und Feuchtigkeit auf 20.15 bis 22.15 Uhr Französischer Sommerzeit (F.S.Z.) **). Nach der letzten Dressurfütterung verschloß ich den Stock und flog mit ihm am 13./14. 6. nach New York, um die Bienen dort in 3 Beobachtungstagen zu testen. Im Anschluß an diesen ersten Versuch wurde eine neue Schar auf 13.30 bis 15.30 Uhr Ostamerikanischer Sommerzeit (O.A.S.Z.) **) dressiert und nach dem Rückflug (3./4. 7.) in Paris geprüft.

Paris liegt 2° 20′ östlich, New York 74° westlich Greenwich. Die Differenz ihrer mittleren Ortszeiten beträgt 5 Std $5^1/_3$ min, diejenige der an diesen Orten gültigen Sommerzeiten [siehe **)] 5 Std. Da der Unterschied von $5^1/_3$ min vernachlässigt werden kann, genügt es im folgenden, die offiziellen Zeiten zu benützen. Im Falle einer endogenen Steuerung des Zeitsinnes der Bienen war zu erwarten, daß sie in New York 24 Std nach der letzten Pariser Dressurfütterung (20.15 bis 22.15 Uhr F.S.Z.), also ungefähr um die Zeit von 15.15 bis 17.15 Uhr O.A.S.Z. am Futterplatz suchen, während sie bei Vorhandensein eines exogenen Zeitgebers zu der der Pariser Zeit (20.15 bis 22.15 Uhr F.S.Z.) entsprechenden New Yorker Zeit (20.15 bis 22.15 Uhr O.A.S.Z.), das ist $24 + 5 = 29$ Std nach der letzten Dressurfütterung in Paris, am Futterplatz im New Yorker Bienenraum erscheinen würden. Beim Rückversuch (Dressur auf 13.30 bis 15.30 Uhr O.A.S.Z.) würde die Wiederkehr der Sammlerinnen in Paris um die Zeit von 18.30 bis 20.30 Uhr F.S.Z., das ist 24 Std nach der letzten Fütterung in New York, die Wirkung eines endogenen, ihre Wiederkehr zwischen 13.30 und 15.30 Uhr

F.S.Z., also 24 − 5 = 19 Std nach der letzten New Yorker Dressur, die eines exogenen Zeitgebers anzeigen.

Beide Experimente sind gelungen. Die Bienen benahmen sich in den Testräumen in bezug auf die räumliche Orientierung so, als ob sie nie den Platz gewechselt hätten. Die Auswertung der Protokolle gibt *keinen* Hinweis für die Wirkung eines exogenen Zeitgebers. Die dressierten Bienen suchten angenähert 24 Std nach der letzten Dressurfütterung und zeigten somit, daß ihr 24-Stundenrhythmus, wenigstens unter diesen Bedingungen, unabhängig von äußeren, tagesperiodisch wechselnden Einflüssen funktioniert.

Da es nicht gelingt, selbst unter konstanten Bedingungen geschlüpfte Bienen auf einen deutlich von der Tagesperiode verschiedenen Rhythmus zu dressieren[1], [5]), ist mit Rücksicht auf vorliegendes Ergebnis die Annahme eines erblich festgelegten, 24-stundenperiodischen, endogenen Zeitgebers naheliegend. Es darf aber nicht übersehen werden, daß ein tagesperiodischer, exogener Zeitgeber während des Larvenstadiums oder während der ersten imaginalen Lebenstage der Biene den organismischen Rhythmus prägen könnte, der dann ohne äußere Anstöße weiterläuft ***). Trotzdem erlaubt der Ausgang des Versuches folgende Aussage: Der Zeitsinn der Sammelbiene funktioniert auch ohne einen exogenen Zeitgeber. Er wird endogen gesteuert.

Zoologisches Institut der Universität, München.

Eingegangen am 24. August 1955. MAX RENNER.

*) Professor v. FRISCH danke ich für die Anregung zu diesem Versuch sowie für die finanzielle Unterstützung aus Mitteln, die ihm von seiten der Rockefeller-Foundation zur Verfügung standen, dem Office of Naval Research (USA.) für seine großzügige Hilfe, den Herren Dr. L. R. ARONSON (USA.), Professor P. P. GRASSÉ (Paris), Professor D. R. GRIFFIN, Professor A. D. HASLER und Professor T. C. SCHNEIRLA (USA.) für tatkräftige Unterstützung bei diesem Experiment internationaler Zusammenarbeit. Ferner danke ich cand. rer. nat. W. LOHER für seine Assistenz bei der Durchführung des Versuches.

**) Die F.S.Z. (Temps d'été en France) und die O.A.S.Z. (Eastern summer time) sind gegenüber den entsprechenden Zonenzeiten (Westeuropäische Zeit bzw. Eastern standard time) um je eine Stunde voraus.

***) Dieses Problem und die Frage, wie Bienen auf eine solche Versetzung reagieren würden, wenn bei Dressur und Test der Sonnenstand für sie erkennbar ist, sollen weitere Versuche klären.

[1]) BELING, I.: Z. vergl. Physiol. **9**, 259 (1929).
[2]) FRISCH, K. v.: Z. Tierpsychol. **1**, 9 (1937).
[3]) GRABENSBERGER, W.: Z. vergl. Physiol. **20**, 338 (1934).
[4]) KALMUS, H.: Z. vergl. Physiol. **20**, 405 (1934).
[5]) PASCHKE, I.: Lehramtsarbeit München 1955.
[6]) RENNER, M.: Naturwiss. **42**, 539 (1955).
[7]) WAHL, O.: Z. vergl. Physiol. **16**, 529 (1932).
[8]) WERNER, G.: Z. vergl. Physiol. **36**, 464 (1954).

Untersuchungen über Verlängerung der Lebensdauer. (Versuche mit Drosophila melanogaster.)

Die durchschnittliche Lebensdauer von Drosophila-Weibchen ist nach HADORN und ZELLER *genetisch* bedingt[1]); sie schwankte bei ihren Untersuchungen mit drei reinen Linien zwischen 33,9 und 27,1 Tagen. Bei Versuchen mit drei verschiedenen, seit 1952 kontrollierten Zuchten in Barcelona war die durchschnittliche Lebensdauer 31,1 bis 32,5 Tage (=4,5 Wochen)[2a]). Bei Zufütterung von T-Präparaten (Tegotin) konnte die Lebensdauer um 2 bis 4 Wochen *verlängert* werden. Beste Ergebnisse hatten stark gereinigte T-Präparate (Ampullenflüssigkeit und proteinfreies Labor-Präparat); damit lebten Weibchen bis über 11 Wochen (78 Tage) und lieferten noch in der 10. Woche lebenstüchtige Nachkommen (Imagines). Lebensverlängerung ließ sich *nicht* erreichen mit PARKER-Lösung[7]) (P.Lsg.), d.h. einem Gemisch von 15 Vitaminen, aber ohne B_{12}; P.Lsg. plus Vitamin B_{12}; P.Lsg. plus B_{12} plus DNS (Desoxyribonucleinsäure); P.Lsg. plus Carnitin-Präparat [Carnitin erwies sich als notwendiger Nahrungsfaktor für Tenebrioniden (Coleopt)][8]).

Weiterhin hatten *keine* positiven Ergebnisse P.Lsg. plus B_{12} plus DNS plus Carnitin-Präparat; P.Lsg. plus B_{12} plus DNS plus Gemisch von 15 Aminosäuren plus Cholin. Die einzelnen Aminosäuren (α-Alanin, β-Alanin, l-Arginin, l(-) Asparagin, Asparaginsäure, L-Cystein, l-Cystin, Glutamin, Glutathion, Histamin, Leucin, Methionin, Tryptophan, Tyrosin, Valin) hatten *ebensowenig* Erfolg wie die einzelnen Vitamine der P.Lsg. (einschließlich B_{12}). Es sei daran erinnert, daß weder Vitamine noch Aminosäuren beim Seeigelsperma eine Lebensverlängerung bewirkten, wohl aber Präparate mit dem T-Faktor[2a,d]), [9]). Selbstredend sagt eine solche Analogie nichts aus über die Möglichkeit ähnlicher Stoffwechselvorgänge bei der Drosophila und dem Sperma des Seeigels.

Eine *Verkürzung* der Lebensdauer trat ein bei Hefepräparaten, bei denen die Hemmstoffe der Hefe (HH) nicht genügend entfernt waren; daß solche Stoffe auf verschiedene Organismen schädlich wirken, ist durch Literaturangaben bekannt[3]) und für Drosophila erwiesen[2b]). — Junge Drosophila von jungen Eltern erreichten eine längere Lebensdauer als solche von alten Weibchen; Zufütterung von T-Präparaten (Tegotin) konnte hier ausgleichend wirken. So war z. B. in einer Versuchsreihe das Durchschnittsalter

bei Eltern von 1 bis 3 Tagen bei üblicher Ernährung 36,4 Tage, bei T-Zugabe 37,1 Tage,

bei Eltern von 26 bis 31 Tagen bei üblicher Ernährung 15,0 Tage, bei T-Zugabe 31,3 Tage.

Extrakte aus alten Drosophila-Imagines wirkten ähnlich hemmend wie HH-Präparate. Es reichert sich demnach hier im Laufe eines längeren Lebens ein auf die nächste Generation übertragbares „schädigendes Agens" an, so wie dies amerikanische Biologen bei verschiedenen anderen Organismen vermuten[6]). CARREL[4]) und andere Zellforscher[5]) wiesen hemmende Stoffe auch bereits im Blute gealterter Wirbeltiere nach. Die HH-Stoffe liefern demnach eine Art Modell für derartige Substanzen: Sie werden auf die nächste Generation übertragen, und können durch den T-Faktor bei Drosophila in ihrer Wirkung aufgehoben oder abgeschwächt werden[2a]).

Bei Wirbeltieren scheinen Präparate aus Hefen mit T-Faktor (aber ohne HH-Stoffe) die Lebensfähigkeit ebenfalls zu verlängern. Bei T-Mäusen warfen Geschwister und Altersgenossen von Kontrollen, die unter Vergreisungserscheinungen nach $1^3/_4$ Jahren starben, zu dieser Zeit noch 6 bis 8 Junge, und bei Pelztieren (Nerzen) konnten deckfaule Altrüden durch T-Zufütterung zu neuer Decktätigkeit angeregt werden. Eindeutige Auswertung laufender Versuche mit Wirbeltieren lassen sich natürlich erst nach jahrelanger Versuchsdauer erwarten.

Barcelona, Pje. Malvquer, 9. WILHELM GOETSCH.

Eingegangen am 2. August 1955.

[1]) HADORN, E., u. H. ZELLER: Roux' Arch. **142**, 276 (1943).
[2]) GOETSCH, W.: [a]) Pubbl. Staz. Zool. Napoli (im Druck). — [b]) Naturwiss. **40**, 584 (1953). — [c]) Pubbl. Staz. Zool. Napoli **1950**. — [d]) Bol. Soc. Biol. Concepcion [Chile] **28** (1953).
[3]) FERNBACH, A.: C. R. Acad. Sci. Paris **149**, 437 (1909). — VOGEL, H.: Die Antibiotica. Nürnberg 1951. — COOK, E. S., KREKE, GIRSCH u. SCHRÖDER: Science [New York] N. S. **93** (1941).
[4]) CARREL, A.: Man — the unkown. (Deutsch: Stuttgart 1950.)
[5]) RIES, E., u. M. GERSCH: Biologie der Zelle. Leipzig 1953.
[6]) STRONG, L. C.: Parental Age and Characteristics of the Offsprings. Ann. New York Acad. Sci. **57**, 451 (1954). Ref. Nature [London] **174**, No 4424 (1954).
[7]) MORGAN, MORTON u. PARKER: Proc. Soc. Exper. Bol. a. Med. **73**, 1 (1950). (Verwendet wurde Originallösung von Prof. Dr. HAAS, Beringwerke Marburg.) — BARKOW, W., u. W. GOETSCH: Naturwiss. **42**, 346 (1955).
[8]) FRÄNKEL, E. W. u. Mitarb.: Arch. of Biochem. a. Biophysics **38**, 405 (1952). — Nature [London] **173**, 133 (1954). — FRÖBRICH, G.: Naturwiss. **40**, 344, 556 (1953). — OFFHAUS, K.: Z. Vitamin-, Hormon- u. Fermentforsch. **4**, 555 (1952).
[9]) Bei Freiland-Nestern von Ameisen mit echter Soldatenkaste (Pheidole) gelang es weder mit Zufütterung von Carnitin-Präparaten noch mit Carnitin plus sämtlichen oben angegebenen Vitaminen und Aminosäuren, die Prozentzahl der Soldaten zu steigern. Bei Zufütterung von T-Präparaten (Tegotin, T-Konzentrat, T-Ampullen) erhöhte sich dagegen die Soldatenzahl von 4 bis 12% auf 48 bis 58%.

Zum Harnsteinproblem.

Die Ätiologie des Harnsteines ist bis heute noch nicht geklärt und somit eine kausale Therapie des Steinleidens nicht möglich. Unser derzeitiges Untersuchungsobjekt ist der manifeste Harnstein, dessen qualitative und quantitative Zusammensetzung noch nicht hinreichend genau bekannt ist. Durch Kombination chemischer, röntgenographischer und mineralogisch-kristalloptischer Untersuchungsmethoden war es uns möglich, die vorliegenden anorganischen Verbindungen, wie Whewellit, Weddellit, Struvit, Apatit, Brushit, Whitlockit usw. sowie die nicht hochpolymeren organischen Bestandteile, wie Harnsäure, Cystin, Urate usw., exakt nachzuweisen. Wir fanden dabei dieselben Verbindungstypen und annähernd die gleichen Prozentsätze wie PRIEN und FRONDEL[1]).

Nach Abschluß dieser Untersuchungen konnten wir uns der Erforschung der organischen, hochpolymeren Gerüstsubstanz zuwenden, deren Konstitution bis heute noch ungeklärt ist. Diese aber ist unserer Ansicht nach von ausschlaggebender Bedeutung für Bildung, Wachstum und eventuelle Auflösung von Harnsteinen. Bei allen Dünn- und Anschliffen zeigte sich immer wieder ein konzentrischer Schichtaufbau, der besonders bei Whewellitsteinen ausgeprägt war. Dieser Aufbau kommt durch den regelmäßigen Wechsel von anorganischen und organischen Schichten zustande. Der Prozentsatz der organischen Substanz konnte aus mikroskopischen Bestimmungen auf 3 bis 5% berechnet werden. Dieses Resultat stimmt mit dem nach Abtrennung der anorganischen Substanz durch Auflösung mittels Säuren verbleibenden Rest vollständig überein. Die damit durchgeführten Elementaranalysen ergaben übereinstimmend bei mehreren Steinen, unabhängig von ihrer anorganischen Zusammensetzung, annähernd die gleichen Prozentsätze an C, H, N, S und O. Am nächsten kamen diese denen von Eiweißstoffen, und alle angestellten Eiweißreaktionen (Biuret, Millon, Pauly, Ninhydrin, Xanthoprotein) waren positiv. Die an Anschliffen selbst vorgenommenen Farbreaktionen mit Ninhydrin bestätigten unsere Ansicht vom regelmäßigen Schichtwechsel zwischen organischer und anorganischer Substanz. Unsere Analysenergebnisse zeigen jedoch gegenüber der Zusammensetzung von Eiweißstoffen einen zu niedrigen N- und einen zu hohen O-Gehalt. Dadurch schien es wahrscheinlich, daß neben den Eiweißstoffen, deren Vorhandensein auch durch Ultrarotaufnahmen bestätigt werden konnte, noch andere, N-ärmere Verbindungen vorliegen. Um dieses Problem zu klären, beschäftigen wir uns derzeit mit der Ausarbeitung einer quantitativen papierchromatographischen Methode. Bei den ersten durchgeführten Untersuchungen konnten wir eine große Anzahl von Aminosäuren als Bausteine der organischen Gerüstsubstanz feststellen, wie z. B. Valin, Leucin, Prolin, Thyrosin, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Cystin usw. Auch ist die Anwesenheit von Glucosamin sehr wahrscheinlich; ob letzteres nun als Bestandteil eines Mucopolysaccharids oder Glucoproteids vorliegt, bedarf noch einer näheren Untersuchung.

Wir danken der Firma Sanabo (Wien) für ihre wertvolle Hilfe.

Eine ausführliche Fassung der Arbeit erscheint in der Zeitschrift für Urologie.

Urologische Abteilung des Krankenhauses Lainz, Wien.

GEORG GASSER.

Mineralogisches Institut der Universität, Wien.

KARL BRAUNER und ANTON PREISINGER.

Eingegangen am 29. August 1955.

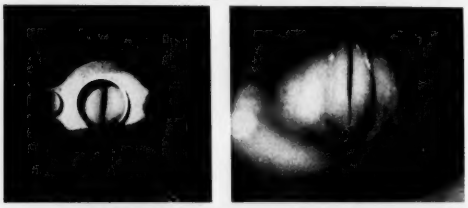
[1]) PRIEN, E. L., u. C. L. FRONDEL: J. of Urol. **57**, 949 (1947).

Synchronstroboskopie von Schallquellen einschließlich des menschlichen Stimmorgans.

Bereits E. MACH[2]) hat (1873) vorgeschlagen, das zu stroboskopierende Objekt selbst zur Steuerung der Lichtblitzquelle heranzuziehen, um damit zu erreichen, daß die Lichtblitzfrequenz ν_B bei einer Inkonstanz der Objektfrequenz ν_0 automatisch nachgeregelt wird, so daß das stroboskopische Bild durch etwaige Schwankungen von ν_0, wie sie beispielsweise beim menschlichen Stimmorgan stets auftreten, möglichst wenig beeinflußt wird. Bei geeigneter Realisation dieses „Prinzips der stroboskopischen Selbstregulierung" kann man nicht nur die einzelnen Phasen der Objektbewegung bequem sehen, sondern auch meßtechnisch erfassen.

Der von der Schallquelle abgestrahlte Klang wurde mittels eines Mikrophons in eine elektrische Wechselspannung umgewandelt, deren Grundwelle ausgesiebt und dann elektronisch so umgeformt wurde, daß schließlich je Periode ein und nur ein Impuls zum Auslösen je eines Lichtblitzes übrigblieb. Hierdurch war auch bei beliebiger Kurvenform der Mikrophonspannung stets eine eindeutige Synchronisierung der Lichtblitzquelle gewährleistet. Als Lichtblitzquelle diente, um auch hohe Lichtblitzfrequenzen erzeugen zu können (bei mäßigem Aufwand bis etwa 20000 Hz) und um für verschiedene Sonderaufgaben die Länge der (rechteckförmigen) Lichtimpulse bequem variieren zu können, eine Glühlampe in Verbindung mit einer KERR-Zellenanordnung. In den Kanal Mikrophon—Lichtblitzquelle wurde ferner ein Vierpol geschaltet, der es gestattete, den Phasenwinkel φ zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung um den Betrag $0 \leq \Delta\varphi \leq 2\pi$ meßbar zu variieren. Hierdurch wurde es möglich, jede beliebige Phase der Objektbewegung aufzusuchen und festzuhalten, so daß man sie photographieren konnte. Die Fig. 1 zeigt Beispiele derartiger „phasengezielter Strobophotographien". Hierdurch ist ein genaues Studium des zeitlichen Ablaufes der Objektbewegung möglich. Außerdem lassen sich mit diesem Prinzip auch Zeitlupenfilme schneller Objektbewegungen herstellen.

Bezüglich der Größe des Untersetzungsverhältnisses $\nu_0/\nu_B \equiv K$ ist noch auf folgendes hinzuweisen: Bei streng periodischen Objektbewegungen kann man ohne Bedenken $K \geq 1$ wählen. Untersucht man aber Objekte, bei denen sich der Schwingungsmodus zeitweilig oder gar periodisch ändert, so können für $K > 1$ unter Umständen vollkommen gleichmäßige Schwingungen vorgetäuscht werden, während in Wirklichkeit die Schwingungen zwar regelmäßig, aber stark ungleichmäßig sind. (Für $K = 1$ zeigen sich derartige Ungleichmäßigkeiten durch ein Verschwinden der Konturen an.) Der



a b

Fig. 1a u. b. Phasengezielte Strobophotographien von Schallquellen. a maximale Öffnungsphase einer WETHLOschen Polsterpfeife; $\nu_0 = 400$ Hz. b maximale Öffnungsphase einer menschlichen Glottis in vivo; Kopfregister, ♂, 400 Hz.

experimentelle Beweis dafür, daß es wirklich derartige periodische Änderungen des Schwingungsmodus bei Schallquellen gibt, wurde an einer HELMHOLTZ-Pfeife erbracht. Der Fall trat bei ungleicher Spannung der beiden Membranen ein, und es muß daher auch bei den menschlichen Stimmlippen mit dem Auftreten derartiger Schwingungen gerechnet werden, besonders in der Pathologie.

Mit diesem Verfahren wurden nun verschiedene Untersuchungen an Schallquellen insbesondere über die zeitlichen Verhältnisse des Schwingungsvorgangs durchgeführt Als Objekte dienten sowohl Pfeifen mit elastischen Doppelzungen, die dem menschlichen Stimmorgan nachgebildet waren, als auch das menschliche Stimmorgan selbst. Die wichtigsten Meßergebnisse, die am Stimmorgan erhalten wurden, sollen hier noch kurz mitgeteilt werden. Es gelang die exakte Messung des Öffnungsquotienten Q (Q = Öffnungszeit/Schwingungsdauer) einer menschlichen Glottis in vivo. Tabelle 1 zeigt die erhaltenen Meßwerte.

Tabelle 1. *Synchronstroboskopisch ermittelte Werte für den Öffnungsquotienten bzw. die -zeit einer menschlichen Glottis in vivo; Laut [a], Vp. ♂, 28 Jahre.*

Frequenz in Hz	Lautstärkegrad	Register	Öffnungsquotient	Öffnungszeit (msec)
120	halblaut	Brust	0,63	5,3
150	halblaut	Brust	0,64	4,3
150	leise	Brust	0,66	4,4
200	halblaut	Brust	0,70	3,5
300	halblaut	Brust	0,68	2,3
400	halblaut	Brust	0,71	1,8
400	halblaut	Kopf	0,68	1,7
500	halblaut	Kopf	0,77	1,5

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, daß die Öffnungszeit mit zunehmender Frequenz kleiner wird (5,3 msec bei 120 Hz gegenüber 1,5 msec bei 500 Hz). Die Angaben von JOOS[1]) sowie TARNOCZY[3]), nach denen die Öffnungszeit eine Konstante ist, finden hiernach keine Bestätigung. Die Öffnungs*zeit* erwies sich ungefähr proportional zur Schwingungsdauer. Der

Öffnungs*quotient* hingegen zeigte eine nur geringe Frequenzabhängigkeit (0,63 bei 120 Hz gegen 0,77 bei 500 Hz). Dabei waren die Einflüsse des Registerwechsels (gemessen bei 400 Hz) und des Lautstärkegrades (gemessen bei 150 Hz) ebenfalls nur gering.

Auf Grund von weiteren Untersuchungen konnte bewiesen werden, daß die von Joos angegebenen Werte für die Öffnungszeit, die um mehr als eine Zehnerpotenz kleiner sind als die in der Tabelle aufgeführten Meßwerte, auch im allgemeinen nicht zutreffen und daß man mit TARNOCZYS indirektem Verfahren zur Ermittlung des Öffnungsquotienten nicht die wirklichen Werte mißt.

Eine ausführliche Mitteilung der Ergebnisse erfolgt an anderer Stelle.

Institut für angewandte Physik der Universität, Hamburg, und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohren-Krankheiten, Abtlg. für Stimm- und Sprachstörungen des Universitäts-Krankenhauses, Eppendorf.

R. TIMCKE.

Eingegangen am 8. August 1955.

[1]) Joos, M.: Acoustic Phonetics. Baltimore 1948. — Language 24, 2, Suppl., Monograph 23.
[2]) MACH, E.: Optisch-akustische Versuche. Prag 1873.
[3]) TARNOCZY, T. H.: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 1, 42 (1951).

Besprechungen.

Handbuch der Kältetechnik. Herausgeg. von R. PLANK. I. Bd.: Entwicklung, wirtschaftliche Bedeutung, Werkstoffe; II. Bd.: Thermodynamische Grundlagen. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1954 u. 1953. I. Bd.: XVIII, 567 S., 322 Abb., zahlreiche Tabellen u. Klimatafeln. DM 84.—. II. Band.: XII, 384 S., 169 Abb. DM 48.—.

Die zahlreichen, bisher erschienenen Bücher der Kältetechnik behandeln entweder Teilgebiete oder übergehen wesentliche Grundlagen. Ein wirklich umfassendes Werk fehlte dagegen auf der ganzen Welt. Daher ist es sehr zu begrüßen, daß sich R. PLANK der Aufgabe unterzogen hat, zusammen mit bekannten Fachleuten diese Lücke zu schließen. Nach dem IX. Band sind nun auch die beiden ersten Bände eines Handbuches der Kältetechnik erschienen.

Der erste Band wird durch einen außerordentlich genußvoll zu lesenden Abschnitt über die Geschichte der Kälteerzeugung und Kälteanwendung eingeleitet, den R. PLANK selber verfaßt hat. Einen breiten Raum nimmt dabei die geschichtliche Entwicklung der Thermodynamik ein, die ja der Kältetechnik die Grundlagen für die Entwicklung in den letzten hundert Jahren geliefert hat. — Die große wirtschaftliche Bedeutung der Kältetechnik hinsichtlich Kälteerzeugung und Kälteanwendung führt O. WAGNER vor Augen. Diese Übersicht wird von W. STRIEGEL durch statistische Angaben ergänzt, die einen Überblick über die Erzeugung und Verwendung kältetechnischer Maschinen, Geräte und Anlagen sowie über Exportziffern und die Kältewirtschaft in den einzelnen Ländern geben. Das mitgeteilte reichhaltige Zahlenmaterial dürfte vor allem dem wirtschaftlich interessierten Leser wertvolle Hinweise geben. — Die meteorologischen Daten, die M. DIEM einer kurzen Einführung folgen läßt, geben ein Bild von den klimatischen Verhältnissen an mehreren hundert Orten der Erdoberfläche und können als Grundlage für die Festlegung der Leistungswerte von Kälteanlagen (Export!) gute Dienste leisten.

Im zweiten Teil des ersten Bandes werden die Eigenschaften der Werkstoffe behandelt. Ein umfangreicher, gut durchgearbeiteter Abschnitt ist den Baustoffen und vor allem den Isolierstoffen gewidmet. J. CAMMERER hat darin die theoretischen und experimentellen Grundlagen des Wärmeschutzes und ihre Nutzanwendung für die Praxis eingehend dargestellt. In einem weiteren Abschnitt setzt sich O. HERRMANN mit den elektrotechnischen Isolierstoffen vor allem in Hinblick auf ihre Anwendung in gekapselten Kältemaschinen auseinander. — Es steht heute eine Unzahl von metallischen und nichtmetallischen Stoffen für Konstruktionszwecke zur Verfügung. Daher wird es der Kältetechniker besonders dankbar begrüßen, daß ihm H. JUNGBLUTH und F. HICKEL eine breite Grundlage für die Auswahl und kritische Beurteilung der metallischen Werkstoffe gegeben haben und S. KIESSKALT das gleiche für die nichtmetallischen Stoffe dargeboten hat.

Die wichtigste Grundlage für den Kältetechniker bildet die Thermodynamik. Sie wird von R. PLANK im zweiten Band des Handbuches vorbildlich klar dargestellt. Dem Charakter des Handbuches entsprechend ist das Gebiet der Verbrennungsvorgänge übergangen worden. Dafür wurden aber beispielsweise die Kreisprozesse sowie das reale Verhalten der Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten besonders eingehend besprochen. Die vielfachen Hinweise auf Näherungsgleichungen für manche Stoffeigenschaften wird vor allem der Praktiker begrüßen. Ein besonders eingehender Abschnitt ist ferner den Zweistoffgemischen gewidmet. — Naturgemäß sind die Interessen der Kältetechnik gebührend berücksichtigt worden. Dennoch wurde die Darstellung so allgemein und grundlegend gehalten, daß auch der an kältetechnischen Fragen weniger interessierte Leser, unter diesen aber vor allem der Studierende und der Verfahrensingenieur, höchsten Nutzen aus der Lektüre des Buches ziehen wird. Besonders zu begrüßen sind die zahlreichen Schrifttumshinweise, die es dem Leser ermöglichen, sich in Sonderfragen noch weiter zu vertiefen.

Druck und Ausstattung der beiden Bände des Handbuches sind hervorragend. Während der erste Band eine ausgesprochene Lücke im Schrifttum bestens ausfüllt, stellt der zweite eine sehr wertvolle Bereicherung des Buchschrifttums über Thermodynamik dar. Beide Bände können vorbehaltlos empfohlen werden. Es bleibt nur zu hoffen, daß auch die weiteren Bände bald erscheinen werden.

H. GLASER (Göttingen).

Finkelnburg, Wolfgang: Einführung in die Atomphysik. Dritte umgearbeitete und erweiterte Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1954. XI, 543 S. u. 266 Abb. DM 44.—.

Die nunmehr vorliegende 3. Auflage der „Einführung in die Atomphysik" unterscheidet sich von der 2. Auflage schon rein äußerlich durch die Vermehrung des Umfangs um rund 30%. Bedingt wird diese Vermehrung durch einige Ergänzungen und Erweiterungen im Abschnitt über die Atome (Kap. III), insbesondere durch eine wesentlich ausführlichere Darstellung der Spektren von Mehrelektronen-Atomen, ferner durch die Behandlung einiger weiterer quantenmechanischer Spezialfragen (in Kap. IV), durch die Erweiterung der Abschnitte über die allgemeinen Eigenschaften der Molekeln und über die chemische Bindung (in Kap. VI) sowie vor allem durch eine dem Fortschritt der Forschung in den letzten Jahren Rechnung tragende gründliche Umarbeitung der Kapitel über die Kernphysik (Kap. V) und über die Festkörperphysik (Kap. VII).

Die neu hinzugekommenen Abschnitte zeigen die gleiche, in pädagogischer Hinsicht bemerkenswert gute Behandlung der Materie wie die bisherigen Abschnitte und stellen damit zweifellos eine Bereicherung des Werkes dar. Die Notwendigkeit des Erscheinens bereits einer 3. Auflage innerhalb weniger Jahre zeigt den großen Anklang, den das Werk in weiten Kreisen gefunden hat und der ihm sicher auch in der neuen Form der 3. Auflage erhalten bleiben wird.

Dennoch möchte der Ref., der das Wachsen des Buches mit großem Interesse verfolgt hat und der es auch gerne seinen Studenten zu einer ersten Orientierung empfiehlt, gewissen Besorgnissen Ausdruck geben, die ihm bei der Durchsicht der 3. Auflage gekommen sind, besonders hinsichtlich der Möglichkeit eines weiteren Anwachsens des Werkes in kommenden Auflagen. Das Buch nennt sich eine „Einführung" in die Atomphysik und vermittelte in seiner 1. Auflage tatsächlich einen Überblick über die wichtigsten Gesichtspunkte, die für das Verständnis des atomaren Geschehens von Bedeutung sind. Dabei schien das Schwergewicht der Darstellung vorwiegend auf den wesentlichsten Problemen der Atomphysik zu liegen, und die Behandlung dieser Probleme war auch so gehalten, daß sie nicht bloß ein Scheinverständnis vermittelte. Mit zunehmender Anzahl der behandelten Fragen auf gedrängtem Raum wächst aber die Gefahr, daß der Leser, verwirrt von der großen Zahl der gelesenen Ergebnisse und Erkenntnisse, nicht mehr das Wesentliche sieht und auch nicht mehr um ein wirkliches Verstehen desselben ringt, sondern sich nur mehr noch an der Menge des gebotenen Stoffes freut. Wäre es

da vielleicht nicht doch besser, bei einem weiteren Anwachsen des Umfanges in künftigen Auflagen die Darstellung der grundlegenden Probleme in der Atom- und Quantenphysik weiter auszubauen? So gehört zu einem wirklichen Verständnis der Quantenmechanik ein Eingehen auf die Problematik des Meßvorganges und damit auch auf die Charakterisierung jeder physikalischen Größe durch einen Operator, dessen Eigenwerte und Erwartungswerte physikalisch überprüfbare Aussagen vermitteln. Oder es sei auf die jedem Anfänger größte Schwierigkeiten bereitende Frage hingewiesen, wie es etwa beim STERN-GERLACH-Versuch zu der gequantelten Einstellung der magnetischen Momente beim Hineinfliegen der Atome in das Magnetfeld kommt. Nach Ansicht des Ref. würde das Buch noch erheblich an Bedeutung für die Studentenausbildung gewinnen, wenn es in den kommenden Auflagen auf solche und ähnliche grundlegenden Probleme etwas mehr eingehen würde.

F. SAUTER (Köln).

Rawer, K.: Die Ionosphäre. Groningen-Holland: P. Noordhoff N. V. 1953. 189 S. u. 67 Abb.

Die Ionosphäre, d.h. jener Teil der hohen Atmosphäre, der durch extraterrestrische Strahlung merklich ionisiert ist, erfreut sich eines wachsenden Interesses der Naturwissenschaften, ja sogar im Zusammenhang mit den Plänen eines künstlichen Satelliten der breiten Öffentlichkeit. Sie verdankt dieses breitschichtige Interesse ihrem Doppelgesicht: Zur Erde hin wirkt sie als Reflektor elektrischer Wellen, der den drahtlosen Weitverkehr in seiner heutigen Ausdehnung erst ermöglicht. Gegen den extraterrestrischen Raum hin wirkt sie als Absorber mannigfaltiger Strahlungen und auf Grund der Spuren, die diese in ihr hinterlassen, als Indikator für Vorgänge, die einer direkten Beobachtung gar nicht zugänglich sind. Merkwürdig genug, aber bedingt durch die Beobachtungsmethoden, beschränkten sich unsere Kenntnissen von der Ionosphäre bis etwa 1950 im wesentlichen auf den elektrischen Zustand. Erst die jüngste Entwicklung der Raketentechnik bringt sichere Aufschlüsse über ihre thermischen und mechanischen Zustandsgrößen. Den Stand der Kenntnisse an diesem Wendepunkt behandelt das vorliegende Buch. Der Name des Verf. bürgt dafür, daß die Darstellung einerseits von umfassender Sachkenntnis getragen, andererseits auch für den Fernestehenden verständlich ist. Von den beiden Gesichtern der Ionosphäre wird zwar das der Erde zugewandte mehr betont, doch werden auch die Zusammenhänge mit den kosmischen Vorgängen in großen Zügen behandelt.

In 5 Kapiteln behandelt der Verf. folgende Themen: I. Beobachtungsmethoden. Die weitaus ergiebigste Methode ist die elektrische Echolotung, die aber primär nur etwas über die Verteilung der Elektronen aussagt. Spektroskopische Untersuchungen des Polarlichtes und des Luftleuchtens erlauben Schlüsse auf die Zusammensetzung der Luft. Aus erdmagnetischen Messungen kann die elektrische Leitfähigkeit abgeleitet werden. Manche Aufschlüsse ergeben auch Meteore und leuchtende Nachtwolken. Die Raketenbeobachtungen steckten bei Drucklegung noch in den Kinderschuhen. II. Beobachtungsergebnisse. Hier werden die Resultate der verschiedenen Beobachtungsmethoden erörtert, nämlich Elektronendichte und Stoßzahl, Leitfähigkeit, Zusammensetzung der Luft, Druck und Dichte sowie die schwierige Frage der Temperatur. Gerade bei der Frage der Leitfähigkeit und der Temperatur kommen die erheblichen Diskrepanzen in den Ergebnissen der verschiedenen Methoden zum Vorschein. III. Theorie der Ionosphärenschichten. Dieses Kapitel befaßt sich mit der Entstehung und dem Verschwinden der Ionisierung sowie mit der Erklärung der verschiedenen Schichten. IV. Regelmäßige und unregelmäßige Veränderungen der Ionosphäre. Hier wird der regelmäßige tages-, jahreszeitliche und 11jährliche Gang der Elektronenkonzentration und der Höhe der verschiedenen Schichten dargestellt und die Abweichungen, die bei chromosphärischen Eruptionen und Korpuskulareinbrüchen auftreten. Auch die besonderen Verhältnisse bei Sonnenfinsternissen und im Polarsommer und -winter werden behandelt. V. Der Einfluß der Ionosphäre auf die Ausbreitung der Radiowellen und deren Vorhersage. In diesem Kapitel findet der Nachrichtentechniker auf gedrängtem Raum alles, was er über den Zusammenhang zwischen Ionosphäre und Ausbreitung der Radiowellen wissen muß. Im letzten Abschnitt kommt deutlich zum Ausdruck, wie sehr wir im täglichen Leben — hier Nachrichtenübermittlung — von den Ereignissen auf unserem Zentralgestirn abhängig sind.

Das Buch kann auf Grund seines Inhalts und seiner Darstellung allen rückhaltlos empfohlen werden, die sich mit dem Thema Ionosphäre näher vertraut machen wollen. Auch der Fachmann wird immer wieder auf die Abschnitte zurückgreifen, in denen die Problematik unserer derzeitigen Kenntnisse zum Durchbruch kommt. Daß manche Aussagen durch neuere Erkenntnisse überholt sind, zeigt lediglich, in welch schneller Entwicklung sich die Ionosphärenforschung noch befindet. Besonders gut hat dem Ref. in dem Buch die Ableitung der Dispersionsformel gefallen. Einer gewissen Ergänzung, die jedoch inzwischen an anderer Stelle erfolgt ist, bedarf das Buch hinsichtlich der Gerätetechnik. Über die höchst interessanten und raffinierten Beobachtungsgeräte ist wohl aus Raumgründen nichts gesagt. Bei einer Neuauflage würde ein Stichwortverzeichnis den Wert des ausgezeichneten Buches noch erhöhen. Daß der Verf., im Saargebiet gebürtig, seit Kriegsende in französischen Diensten, das Buch in deutscher Sprache in einem holländischen Verlag hat erscheinen lassen, mag als gutes Vorzeichen für ein vereinigtes Europa gedeutet werden.

W. DIEMINGER (Lindau i. Harz).

Ulbricht, H.: Grundriß der pflanzlichen Rohstoffkunde. Leipzig: S. Hirzel 1952. VIII, 147 S. u. 20 Abb. DM 8.20.

Der Verf. hat sich in der Umgrenzung und Einteilung des Stoffes nach dem bekannten „Grundriß der botanischen Rohstofflehre" von NEGER gerichtet, der vor 3 Jahrzehnten erschien und heute in manchem überholt ist. Während das Buch von NEGER aber einen Umfang von rund 300 Seiten mit 120 Abbildungen hatte, muß ULBRICHT mit der Hälfte des Raumes und einem Sechstel der Abbildungen auskommen. Das ist außerordentlich zu bedauern, denn es ist kaum möglich, über die Zuckerrübe und das Zuckerrohr in je 21 Zeilen auch nur die wichtigsten Tatsachen mitzuteilen. Die Olive, der bei NEGER noch eine ganze Seite gewidmet war, wird auf 6 Zeilen, die Kokospalme auf 3 Zeilen besprochen; für Kaffee und Muskatnuß stehen je 10 Zeilen zur Verfügung. Nur die Abschnitte über Holz sowie über Fasern und Baste sind etwas ausführlicher gehalten. Gerade weil der Ref. das Erscheinen eines neuen Buches über pflanzliche Rohstoffe außerordentlich begrüßt, bedauert er die übergroße Kürze, die nicht genügend Raum läßt, um den Inhalt dieses Gebietes auszuschöpfen und die vielen interessanten Beziehungen zur Technik und zum täglichen Leben zur Darstellung zu bringen.

U. WEBER (Karlsruhe).

Boyd, George, A.: Autoradiography in Biology and Medicine. New York: Academic Press 1955. XIII, 399 S., 98 Fig. $ 8.80.

Dieses auf der einen Seite hervorragend propädeutische, auf der anderen ungemein kritische Buch über Autoradiographie verrät auf jeder Seite einen Verf. mit besonders großer eigener Erfahrung auf dem interessanten Gebiet. Einmal ist es wirklich so geschrieben, daß derjenige, der noch niemals autoradiographisch gearbeitet hat, die Technik versteht. Dabei werden alle möglichen Spezialanwendungen beachtet (Knochenautoradiogramme usw.), so daß ein Teil des Buches sich, wie der Verf. selbst bemerkt, gleichsam als Kochbuch benutzen läßt. Zum anderen liefert der Verf. aber auch eine sehr genaue Theorie der Strahlenwirkungen und der photographischen Abbildung. Nach einer historischen Einleitung, in welcher nur zu beanstanden ist, daß der Eindruck entsteht, RÖNTGEN habe seine Entdeckungen in Wien gemacht, folgt die Definition des Begriffes Autoradiographie, ja sogar eine sehr exakte Etymologie des Wortes. Im 2. Kapitel wird ausführlich der photographische Prozeß, im 3. und 4. werden Emulsionen und Photomaterialien theoretisch und praktisch untersucht. Dann folgt die Entstehung des autoradiographischen Bildes, d.h. also die Schilderung der Kombination eines histologischen Schnittes, welcher die strahlende Materie enthält, mit der photographischen Emulsion, und ein ausgedehntes Kapitel über die bei dieser Technik so leicht auftretenden Fehlerquellen. Der 2. Teil des Buches kann für die praktische Arbeit besonders empfohlen werden. Erfreulicherweise werden auch die natürlichen α-Strahler ausgiebig berücksichtigt. Den Abschluß bildet eine ausgezeichnet angeordnete Bibliographie. Nicht nur amerikanisches Schrifttum wird mitgeteilt. Es bleibt zu hoffen, daß dieses didaktisch außerordentlich geschickte Buch dem Gebiet neue Freunde zuführt.

R. BACHMANN (Göttingen).

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin • Göttingen • Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany.

VEB Carl Zeiss JENA

aus JENA

Für kolorimetrische Messungen

an Schichtdicken von 0,1 bis 50 cm • Fortfall von Vergleichslösungen •

Geringer Flüssigkeitsbedarf • Verwendbar für Trübungs- und Fluoreszenzmessungen •

PULFRICH-PHOTOMETER Anfragen unter 32/ I Pupho erbeten

Theoretische Metallkunde

Von Dr.-Ing. **Ulrich Dehlinger,** o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart, Abteilungsleiter am Max-Planck-Institut für Metallforschung. (Reine und angewandte Metallkunde in Einzeldarstellungen. Herausgegeben von W. Köster. Dreizehnter Band.) Mit 82 Abbildungen. V, 250 Seiten Gr.-8°. 1955.

Ganzleinen DM 27.—

Inhaltsverzeichnis: **Kristallographische Grundbegriffe:** Beschreibung der Kristallgitter. Die Symmetrie in den Kristallen. Interferenzen an Kristallen. — **Die Elektronen im Gitter:** Das Elektronengas im Gitterpotential. Die Fermistatistik der Elektronenwellen. Brillouin-Zonen und Regel von Hume-Rothery. Atomfunktionen und Elektronenbänder. Die Zellenmethode. Korrelation der Elektronen. Spinverteilung. — **Die Struktur der Elemente im Periodischen System:** Die Bindungsarten der Metallgitter. Bindung durch *s*- und *p*-Funktionen. Die Übergangsmetalle und ihre Allotropie. — **Bildungswärme und Gitterbau der Legierungen:** Elektronentheorie der Legierungen. Legierungsgruppen. — **Physikalische Eigenschaften von Elementen und Legierungen:** Leitfähigkeit und Hall-Effekt. Magnetismus. Optische Eigenschaften und Röntgenspektren. — **Phasengleichgewicht und Umwandlungskinetik:** Grundgesetze der statistischen Thermodynamik. Die spezifische Wärme der Gitterschwingungen. Inneres und äußeres Gleichgewicht der Phasen. Diffusion und Keimbildung. Ausscheidungsvorgänge in übersättigten Mischkristallen. Kettenreaktionen durch wandernde Versetzungen. Gitterfehlstellen, Korngrenzen, Oberflächen. Relaxationsvorgänge. — **Tabellen-Anhang.** — **Literaturverzeichnis.** — **Namenverzeichnis.** — **Sachverzeichnis.**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Handbuch der Physik
Encyclopedia of Physics

Herausgegeben von S. Flügge, Marburg, Deutschland. 54 Bände. Mit Beiträgen in deutscher, englischer und französischer Sprache. Jeder Band ist einzeln käuflich.

Bis Ende des Jahres 1955 werden erscheinen:

Im Oktober

III. Gruppe: Mechanisches und thermisches Verhalten der Materie.

Band 7, I. Teil

Kristallphysik

Mit 234 Figuren. Etwa 720 Seiten Gr.-8°. 1955.

Vorbestellpreis gültig bis zum Erscheinen Ganzleinen DM 98.—
Endgültiger Ladenpreis nach Erscheinen Ganzleinen DM 122.50

Inhaltsübersicht: **Kristallographie.** Von H. Jagodzinski, Würzburg, Deutschland. — **Gittertheorie der mechanischen und thermischen Eigenschaften von Kristallen.** Von G. Leibfried, Göttingen, Deutschland. — **The Specific Heat of Solids.** By M. Blackman, London, Great Britain. — **Theorie der Gitterfehlstellen.** Von A. Seeger, Stuttgart, Deutschland.

I. Gruppe: Mathematische Methoden.

Band 2:

Mathematische Methoden II

Mit 98 Figuren. Etwa 530 Seiten Gr.-8°. 1955.

Vorbestellpreis gültig bis zum Erscheinen Ganzleinen DM 70.40
Endgültiger Ladenpreis nach Erscheinen Ganzleinen DM 88.—

Inhaltsübersicht: **Algebra.** Von G. Falk, Aachen, Deutschland. — **Geometrie.** Von H. Tietz, Braunschweig, Deutschland. — **Functional Analysis.** By I. N. Sneddon, Keele, Great Britain. — **Numerische und graphische Methoden.** Von L. Collatz, Hamburg, Deutschland. — **Moderne Rechenmaschinen.** Von H. Bückner, Schenectady, N.Y., USA.

Im Dezember:

VI. Gruppe: Röntgenstrahlen und Korpuskularstrahlen.

Band 33:

Korpuskularoptik

Mit etwa 500 Figuren. Etwa 700 Seiten Gr.-8°. 1955.

Vorbestellpreis gültig bis zum Erscheinen Ganzleinen DM 98.—
Endgültiger Ladenpreis nach Erscheinen Ganzleinen DM 122.50

Inhaltsübersicht: **Elektronen- und Ionenquellen.** Von D. Kamke, Marburg, Deutschland. — **Elektronen- und Ionenoptik.** Von W. Glaser, Wien, Österreich. — **Elektronenmikroskope.** Von S. Leisegang, Berlin, Deutschland. — **Massenspektroskopische Apparate.** Von H. Ewald, München, Deutschland. — **Beta-Ray Spectroscopes.** By T. R. Gerholm, Stockholm, Sweden.

Bei Verpflichtung zur Abnahme des gesamten Handbuches gilt der Vorbestellpreis auch nach Erscheinen der Bände weiter als Subskriptionspreis, jedoch ist jeder Band zum Ladenpreis einzeln käuflich.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Dieses Heft enthält je eine Beilage des Springer-Verlages, Berlin · Göttingen · Heidelberg, und des Springer-Verlages, Wien.